

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Теплоенергетичний факультет

Кафедра теоретичної і промислової теплотехніки

«На правах рукопису»
УДК 66.048.5:629.7.048

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Г.Б.Варламов
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” _____ 20 19 р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 144 «Теплоенергетика»

на тему: «Розробка експериментального стенду для дослідження відцентрового дистильатора з термоелектричним насосом»

Виконав: студент II курсу, групи ТП-81мп

Донець Андрій Валерійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник професор, д.т.н., проф. Ріферт В. Г.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Консультант з охорони праці к.т.н., доцент Каштанов С.Ф.

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент директор О.В. Золотухін

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет Теплоенергетичний

Кафедра Теоретичної і промислової теплотехніки

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 144 «Теплоенергетика»,

ОПП «Промислова та муніципальна теплоенергетика і енергозбереження»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Г.Б. Варламов
(підпис) (ініціали, прізвище)

«___» _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Донцю Андрію Валерійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Розробка експериментального стенду для дослідження відцентрового дистилятора з термоелектричним насосом»

науковий керівник дисертації Ріферт Володимир Густавович, д.т.н., проф.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «___» _____ 2019 р. № _____

2. Термін подання студентом дисертації 16.12.2019 р.

3. Об'єкт дослідження відцентровий багатоступінчатий дистилятор з термоелектричним тепловим насосом

4. Вихідні дані

1) Продуктивність дистилятора -5,5 кг/год.

2) Температура насичення у першому ступені випаровування $t_{\text{stl}}=50^{\circ}\text{C}$.

3) Температура охолоджуючого конденсату на вході в кінцевий конденсатор $t_3=37^{\circ}\text{C}$:

4) Випарюваний розчин NaCl, з початковою концентрацією 5% та кінцевою - 21%.

5) Витрати розчину в гарячому контурі – 90 кг/год.

6) Витрати конденсату в холодному контурі – 95 кг/год.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

1) Розробити теплову схему для дослідження відцентрового багатоступінчатого дистилятора з термоелектричним тепловим насосом.

2) Виконати перевірочний розрахунок дистилятора.

3) Дослідити паразитні перетоки теплоти із гарячого контуру у холодний в гідравлічних каналах вузла входу та виходу теплоносіїв відцентрового дистилятора.

4) Визначити питомі витрати енергії системи дистиляції.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу
- 1) Теплова схема – 1 арк.
 - 2) Схема автоматизації та вимірювання – 1 арк.
 - 3) Компоновка стенда, поздовжній розріз відцентрового дистилятора – 1 арк.
 - 4) Загальний вигляд теплообмінної поверхні типового ступеня дистиляції – 1 арк.;
 - 5) Привід ротора з магнітною муфтою – 1 арк.
 - 6) Вузол входу та виходу теплоносіїв у дистилятор – 1 арк.
 - 7) Клапан підживлення дистилятора розчином – 1 арк.
 - 8) Загальний вигляд термоелектричного теплового насоса – 1 арк.
 - 9) Результати дослідження вузол входу та виходу теплоносіїв у дистилятор – 1 арк.
7. Орієнтовний перелік публікацій – тези доповіді.

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Каштанов С.Ф, доцент		

9. Дата видачі завдання 03.09.2019 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Літературний пошук	20.09.2019 р.	
2	Розробка теплової схеми стенда	27.09.2019 р.	
3	Розробка методики дослідження	03.10.2019 р.	
4	Вибір основного та допоміжного обладнання	09.10.2019 р.	
5	Розрахунки теплообміну при випаровуванні плівки	15.10.2019 р.	
6	Випаровування перегрітого розчину в полі дії відцентрових сил	22.10.2019 р.	
7	Конденсація парогазової суміші	28.10.2019 р.	
8	Дослідження паразитних перетоків теплоти із гарячого контуру у холодний в гідравлічних каналах вузла входу та виходу теплоносіїв відцентрового дистилятора	01.11.2019 р.	
8	Креслення	15.11.2019	
9	Охорона праці	20.11.2019 р.	
10	Оформлення пояснювальної записки	02.12.2019 р.	

Студент

_____ (підпис)

А.В. Донець
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

_____ (підпис)

В.Г. Ріферт
(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

**Пояснювальна записка
до магістерської дисертації
за освітньо-професійною програмою**

на тему: Розробка експериментального стенду для дослідження відцентрового
дистилятора з термоелектричним тепловим насосом

Київ – 2019 р.

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на здобуття ступеня магістра за освітньо-професійною програмою підготовки на тему: «Розробка експериментального стенду для дослідження відцентрового дистилятора з термоелектричним тепловим насосом»: 67 с., 14 рис., 6 табл., 1 дод., 14 джерел, 7 креслеників формату А1, 4 плакати.

Об'єкт розробки – експериментальний стенд.

Мета роботи – розробка експериментального стенду для дослідження відцентрового дистилятора з термоелектричним тепловим насосом, дослідження паразитних перетоків теплоти із гарячого контуру у холодний в гідравлічних каналах вузла входу та виходу теплоносіїв відцентрового дистилятора.

Наведені розрахунки коефіцієнтів тепловіддачі в кожній ступені триступінчатого дистилятора, розрахунок паразитичних перетоків теплоти в каналах ввідного вузла, графіки залежності теплових втрат і надходжень в каналах від теплопровідності матеріалів вузла. За розрахунками було визначено, що в каналі 1 теплота втрачається і відбувається її надходження в каналах 2,3 та 4.

Розроблений стартап-проект, в результаті техніко-економічних розрахунків показано, що зведений кошторис становитиме 1935,0 тис. грн. , в т.ч. 2018 рік – 645,0 тис. грн., 2019 рік – 645,0 тис. грн., 2020 рік – 645,0 тис.грн.

Передбачені заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Результати роботи упроваджені в ТОВ «Термодистиляція».

КЛЮЧОВІ СЛОВА: дистиляція, стенд, обертова поверхня, солеміст, теплові втрати, теплові надходження, технологічний розчин, стартап, економічний ефект.

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация на соискание степени магистра по образовательно-профессиональной программе подготовки на тему: «Разработка экспериментального стенда для исследования центробежного дистиллятора с термоэлектрическим тепловым насосом»: 67 с., 14 рис., 6 табл., 1 доп., 14 источников, 7 чертежей формата А1, 4 плакат.

Объект разработки – экспериментальный стенд.

Цель работы - разработка экспериментального стенда для исследования центробежного дистиллятора с термоэлектрическим тепловым насосом, исследования паразитных перетоков теплоты с горячего контура в холодный в гидравлических каналах узла входа и выхода теплоносителя центробежного дистиллятора.

Приведенные расчеты коэффициентов теплоотдачи в каждой степени трехступенчатого дистиллятора, расчет паразитических перетоков теплоты в каналах вводного узла, графики зависимости тепловых потерь и поступлений в каналах от теплопроводности материалов узла. По расчетам было определено, что в канале 1 теплота теряется и происходит ее поступления в каналах 2,3 и 4.

Разработанный стартап-проект, в результате технико-экономических расчетов показано, что сводная смета составит 1935,0 тыс. Грн., В т.ч. 2018 - 645,0 тыс. Грн., 2019 - 645,0 тыс. Грн., В 2020 году - 645,0 тыс.

Предусмотрены мероприятия по охране труда и безопасности в чрезвычайных ситуациях.

Результаты работы внедрены в ООО «Термодистилляция».

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дистилляция, стенд, вращающаяся поверхность, солесодержание, тепловые потери, тепловые поступления, технологический раствор, стартап, экономический эффект.

ABSTRACT

Master's Thesis for Master's Degree in Educational and Professional Training Program on the topic: "Development of an experimental stand for the study of a centrifugal distiller with a thermoelectric heat pump": 67 pp., 14 figures, 6 tables., 1 appendix, 14 sources, 7 drawings A1 size, 4 posters.

The object of development is an experimental stand.

The purpose of the work is the development of an experimental stand for the study of a centrifugal distiller with a thermoelectric heat pump, the study of parasitic heat flows from the hot circuit to the cold in the hydraulic channels of the inlet and outlet of the centrifugal distiller coolant.

The calculations of the heat transfer coefficients in each stage of the three-stage distiller, the calculation of parasitic heat fluxes in the channels of the inlet node, the graphs of the dependence of heat losses and receipts in the channels from the thermal conductivity of the materials of the node are presented. According to the calculations, it was determined that in channel 1 heat is lost and its flow occurs in channels 2,3 and 4.

A startup project has been developed, as a result of technical and economic calculations it is shown that the consolidated estimate will be 1935,0 thousand UAH. , including 2018 - UAH 645,0 thousand, 2019 - UAH 645,0 thousand, 2020 - UAH 645,0 thousand.

Occupational health and safety measures are foreseen.

The results of the work are implemented in Thermodistillation LLC.

KEYWORDS: distillation, stand, rotating surface, salt content, heat losses, thermal inputs, technological solution, startup, economic effect.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, скорочень, термінів	9
Вступ.....	10
1 Літературний пошук.....	12
1.1 Огляд розробок відцентрових дистиляторів для систем життєзабезпечення космічних станцій.....	12
1.2 Висновки за розділом 1.....	17
2 Розробка теплової схеми стенда та методики дослідження дистиляційних систем з відцентровим дистилятором та термоелектричним тепловим насосом	18
2.1 Опис технологічної схеми стенда	18
2.2 Методика дослідження вимірювання основних режимних параметрів та методика обробки результатів вимірювання при проведенні експериментів.	20
2.3 Висновки за розділом 2.....	24
3 Основне та допоміжне обладнання.....	25
3.1 Відцентровий дистилятор (конструкція та розрахунок)	25
3.2 Термоелектричний трансформатор теплоти	32
3.3 Висновки за розділом 3.....	32
4 Аналіз особливостей гідродинаміки й теплообміну при конденсації і паротворенні в плівці рідини на поверхні, що обертається	33
4.1 Гідродинаміка плівки рідини на обертовій поверхні.....	33
4.2 Геометрія теплообмінної поверхні	34
4.3 Тепловіддача при конденсації пари на плівці рідини	35
4.4 Тепловіддача при паротворенні в плівці рідини на обертовій поверхні	35
4.6 Висновки за розділом 4.....	36
5 Баланс солевмісту й розподіл концентрації солей в оброблюваній рідині по ступіням.....	37
5.1 Баланс солевмісту й концентрація розчину в ступенях	37
5.2 Висновки за розділом 5.....	39
6 Методика розрахунку багатоступінчастого дистилятора	40
6.1 Розрахункова схема.....	40
6.2 Послідовність теплового розрахунку	40

					ТП81мп 3905 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Донець А.В.			Експериментальний стенд для дослідження відцентрового дистилятора з термоелектричним тепловим насосом Пояснювальна записка	Стадія	Арк.	Акрушів
Перевір.		Ріферт В.Г.				М Д П	7	69
Реценз.						НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського, ТЕФ, каф. ТПТ		
Н. Контр.		Боженко М.Ф.						
Затверд.		Варламов Г.Б.						

6.3 Висновки до розділу 6	50
7 Дослідження паразитних перетоків теплоти із гарячого контуру у холодний в гідравлічних каналах вузла входу та виходу теплоносіїв відцентрового дистилятора	51
7.1 Розрахунок температур на виході с каналів	52
7.2 Розрахунок теплових втрат в каналах вузла вводу	53
7.3 Висновки до розділу 7	55
8 Розробка стартап проекту	56
8.1. Обсяг витрат на заробітну плату (розрахунок фонду оплати праці за кількістю працівників, залучених до виконання (загальний)	56
8.2. Обсяг витрат на матеріали, обладнання та інвентар, орієнтовний розрахунок (загальний)	56
8.3. Обсяг витрат на енергоносії, інші комунальні послуги (загальний).....	56
8.4. Інші витрати (за видами, із обґрунтуванням їх необхідності (загальний)	56
8.5 Висновки до розділу 8	56
9 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	57
9.1 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації експериментального стенда	57
9.2 Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці і виробничої санітарії.....	59
9.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях	60
Висновки.....	63
Список використаної літератури	64
Додатки.....	66
Додаток А – Звіт перевірки на плагіат	66
Додаток Б – Технічне завдання	67
Додаток В – Акт впровадження	68
Додаток Г – Список наукових праць.....	69

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ,СИМВОЛІВ,СКОРОЧЕНЬ,ТЕРМІНІВ

C - солеміст; теплоємність;
 F – площа;
 G - масова швидкість, масова витрата;
 I - електричний струм;
 K – коефіцієнт теплопередачі;
 M – маса;
 N – електрична потужність;
 n – частота обертів;
 P, p - тиск;
 Q – тепловий потік;
 q - густина теплового потоку;
 r - теплота фазового переходу;
 R – радіус;
 T, t - температура;
 U – електрична напруга;
 V – об'єм;
 w - швидкість середовища;
 α – коефіцієнт тепловіддачі;
 δ - товщина плівки;
 Δ - різниця;
 λ - теплопровідність;
 μ - динамічний коефіцієнт в'язкості;
 ν - кінематичний коефіцієнт в'язкості;
 ρ - густина;
 τ – час;
 φ – ефективність термобатареї, питома витрата енергії;
 $ТЕБ$ – термоелектрична батарея.

Індекси

f – потік;	in –вхід;
$сс$ – технологічний конденсат;	out – вихід;
$d, д$ – дистиллят, дистиллятор;	p - постійний тиск;
$г$ – гарячий;	x – холодний.

ВСТУП

Забезпечення водою екіпажу космічних кораблів, глибоководних апаратів (включаючи підводні човни), наукових та військових експедицій в безводні райони Земної кулі було актуальною та складною для вирішення проблемою у всі часи.

В зв'язку з тим, що для тривалих експедицій практично неможливо забезпечити доставку необхідної для нормального функціонування людей кількості чистої води, актуальною є регенерація води із рідких відходів процесу життєдіяльності людей – урини, поту, госп-побутових вод, тощо.

Базові вимоги до технології очищення води в умовах космічного польоту: надійність, мінімальні габарити, вага, витрати енергії на процес і спроможність пристрою функціонувати за відсутності гравітації.

В програмах 2015-16 рр. провідних космічних країн, США, Китай, Росія, існують наміри здійснення довготривалих (до декількох місяців) польотів на Місяць, Марс вже в 2020-2025 рр. Передбачається навіть доставка туристів та людей для проживання на Марсі. Розрахунки потреб води, які виконані для таких експедицій, показують неможливість їх здійснення з використанням запасів води або її доставки, так як це вимагає колосальних затрат енергії та грошей.

Вартість доставки на космічний апарат, що знаходиться на навколоземній орбіті, одного кілограма витратних матеріалів складає: на низьку (опорну) орбіту (200 км) – \$2600...4000; гео-перехідну орбіту (200-35700 км) - \$13000...16000; геостационарну орбіту (35700 км) – більше \$20000. Забезпечення водою далеких космічних місій (Місяць, Марс) без регенерації води на космічному апараті неможливе.

Відцентрові дистилятори є по суті теплообмінними апаратами, в яких процеси конденсації пари та випаровування рідини відбуваються на поверхнях теплообміну, що обертаються. Габарити та споживання енергії залежать в будь-якому теплообмінному апараті від інтенсивності процесів. Системи термічної відцентрової дистиляції включають в себе також термоелектричний тепловий насос (ТНР), основною характеристикою його ефективності є такий показник, як відношення кількості тепла, отриманого на «гарячому» боці ТНР до підведеного до елементів ТНР електричної енергії (COP). Ефективність ТНР залежить, перш за все, від різниці температур на гарячій та холодній сторонах ТНР. Чим менше різниця температур, тим вище COP та менше витрата енергії.

Також ефективність (питома витрата енергії) всієї системи дистилятора залежить від кількості ступенів дистилятора та швидкості обертання теплообмінних поверхонь.

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Швидкість обертання поверхонь, їх дизайн також впливають на продуктивність та якість дистиляту. В даній розробці використовується принцип багатоступеневої дистиляції на поверхнях, що обертаються із швидкістю 1000-1200 об/хв., в комплексі з термоелектричним тепловим насосом . За цією технологією питома витрата енергії на виробництво чистої води менше 100 Вт.год/л і на цей показник практично не впливає ступінь концентрування вихідної рідини. Для циркуляції рідин не потрібні допоміжні насоси – переміщення рідин в системі, а також злив продукту (дистиляту) і концентрату відбувається за рахунок використання відцентрових сил. Багатоступеневий відцентровий дистилятор дозволяє отримати близько 7 л/год очищеної води, що дає змогу переробити усі відходи життєдіяльності на борту пілотованого космічного апарата з екіпажем 5-7 людей.

Сучасні технології очищення рідких відходів, які використовуються в передових країнах-виробниках обладнання для систем життєзабезпечення (США, Росія, Японія), базуються на двох принципах: мембранна технологія (зворотний осмос) і дистиляція. Зворотний осмос може використовуватись лише для демінералізації малоконцентрованих розчинів (наприклад, санітарно-гігієнічної води). Основною проблемою при використанні мембран для демінералізації урини – короткий термін їх використання (не більше трьох місяців). Саме тому застосування технології з фазовим переходом, тобто дистиляції для систем життєзабезпечення, є найбільш перспективним методом одержання чистої води із вод з любым рівнем мінералізації і забруднення.

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ПОШУК

1.1 Огляд розробок відцентрових дистиляторів для систем життєзабезпечення космічних станцій

Відцентрова вакуумна дистиляція (ВВД) визнана найбільш перспективною технологією регенерації високомінералізованих вод (у тому числі урини) для пілотованих космічних систем. Переваги ВВД у порівнянні з іншими технологіями - повітряно-випарною системою, термоелектричною мембранною випарною системою - наступні:

- можливість високого концентрування рідини (до 92 - 95%) без погіршення якості вище норми одержуваного продукту й зниження продуктивності дистилятора;
- менші витрати на попередню підготовку оброблюваної рідини й доочищення продукту до потрібних параметрів;
- можливість використання відцентрової сили для циркуляції й відкачування рідких потоків при помірній швидкості обертання ротора дистилятора.

Починаючи з 1974 р. у Київському політехнічному інституті (КПІ) проводяться розробки різних типів відцентрових дистиляторів (ВД) стосовно до системи регенерації води з урини, а також конденсату атмосферної вологи, санітарно-гігієнічної води й рідких відходів життєдіяльності на борту пілотованого космічного апарата.

Цим роботам передували фундаментальне дослідження гідродинаміки плівки рідини й тепломасообміну при конденсації й паротворенні в плівці рідини на обертовій поверхні [3-5].

Результати досліджень дозволили розробити кілька типів ВД, зокрема:

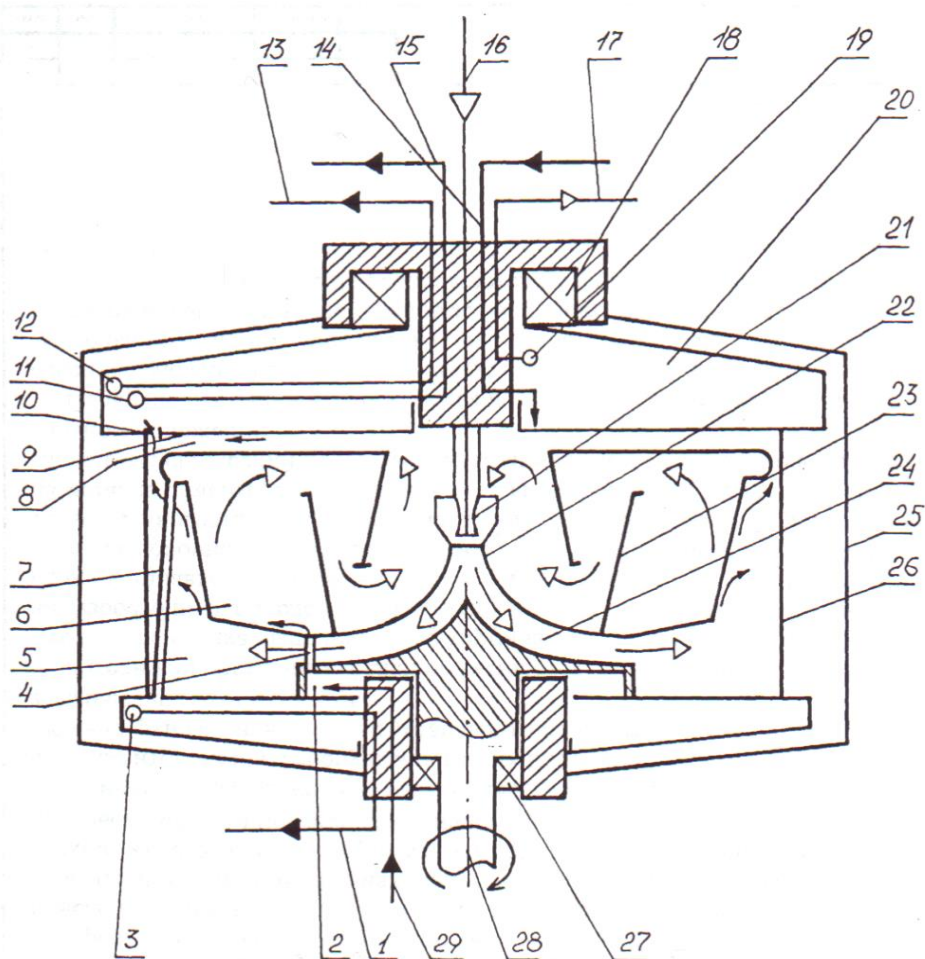
- термоелектричний дистилятор;
- пароежекторний дистилятор;
- масообмінний роздільник-дистилятор;
- парокompresійний дистилятор;
- багатоступінчастий дистилятор.

Нижче представлені короткі описи названих відцентрових дистиляторів й їхні характеристики.

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.1.1 Пароежекторний дистилятор [1]

Дистилятор (рис. 1.2) складається з корпусу 25, у середині якого розміщений ротор 26. У роторі виділена: камера вихідної рідини 2, камера пари, що гріє, 5, камера випару 6, камера конденсації вторинної пари 8, камера змішання 24 і збірник конденсату 20.



1-канал виведення невикпареного залишку; 2-камера вихідної рідини; 3-черпак відбору концентрату; 4-канал перетікання вихідної рідини; 5-камера пари, що гріє; 6-камера випару; 7-канал перетікання невикпареного залишку; 8-камера конденсації вторинної пари; 9- теплообмінна поверхня; 10-канал перетікання вихідної рідини; 11- черпак відбору дистиляту-продукту; 12- черпак відбору технологічного конденсату; 13- канал виведення технологічного конденсату на охолодження; 14- канал повернення охолодженого технологічного конденсату; 15- канал виведення дистиляту-продукту; 16- канал підведення робочої пари; 17- канал вакуумування й відводу газів, що не конденсуються; 18- підшипник; 19- прийомний отвір для вакуумування і відводу газів, що не конденсуються; 20- збірник конденсату; 21- сопло; 22- дифузор; 23- сепараційні тарілки; 24- камера змішання; 25-корпус; 26- ротор; 27- підшипник; 28- вал; 29- канал підведення вихідної рідини.

Рисунок 1.2 - Відцентровий пароежекторний дистилятор

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Дистилятор має убудований компресор, робоче сопло 21 якого закріплено в корпусі 25, а дифузор 22 і камера змішання 24 є частиною ротора. Таке виконання компресора дозволяє вирішити проблему розділу камер 5 і 6, що перебувають під різними тисками, без застосування ущільнень, які завжди ускладнюють конструкцію й, крім того, знижують ресурс роботи апарата.

Ротор закріплений у підшипниках 18 й 27 і приводиться в обертання приводним двигуном через магнітну муфту. Черпаки 3, 11, і 12 служать для видалення з апарата відповідно невиспареного залишку (концентрату), дистиляту-продукту й технологічного конденсату.

Працює дистилятор у такий спосіб.

Ротор апарата, у порожнині якого через прийомний отвір 19 створюється необхідне розрідження, приводиться в обертання за допомогою привода. Робоча пара з парогенератора по каналу 16 через робоче сопло 21 вдувається в камеру змішання 24, звідки направляється в камеру нагрівання 5. Тут пара конденсується, віддаючи теплоту зовнішній стінці камери випару 6. Конденсат, що утворився, відцентровою силою відкидається на зовнішню стінку ротора й по каналу 10 попадає в збірник конденсату 20, звідки відбирається черпаком 12 й, як технологічний конденсат, по каналі 13 подається в контур зовнішнього охолодження. Охолоджений конденсат знову повертається в апарат по каналі 14, де зливається на центральну частину теплообмінної поверхні 9.

Вихідна рідина по каналу 29 подається в камеру 2, звідки по каналу 4 надходить у камеру випару 6, де, розтікаючись під дією відцентрової сили у вигляді тонкої плівки по внутрішній поверхні камери, омиваної зовні відносно гарячою парою, випарюється. Невипарений залишок по трубці 7 надходить у черпак 3, за допомогою якого виводиться з апарата по каналу 1 у ємність для збору концентрату.

Вторинна пара, що утворилася в камері випару 6, обігнувши сепараційні тарілки 23, частково відсмоктується струменем робочої пари в камеру змішання 24 парового ежектора, де відбувається його стиск у взаємодії з робочою парою й звідки він направляється в камеру нагрівання 5. Частина вторинної пари, що залишилася, в результаті контакту з холодною теплообмінною поверхнею 9 конденсується, конденсат розтікається до периферії диска й по каналах 10 - у збірник конденсату 20.

У процесі роботи дистилятора кількість конденсату в збірнику конденсату 20 збільшується й, коли його рівень досягає прийомного отвору черпака 11, починається відбір надлишку конденсату як дистиляту-продукту і виведення його з дистилятора по каналу 15. Газ, що утворився і не конденсується, відсмоктується по каналу 17.

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

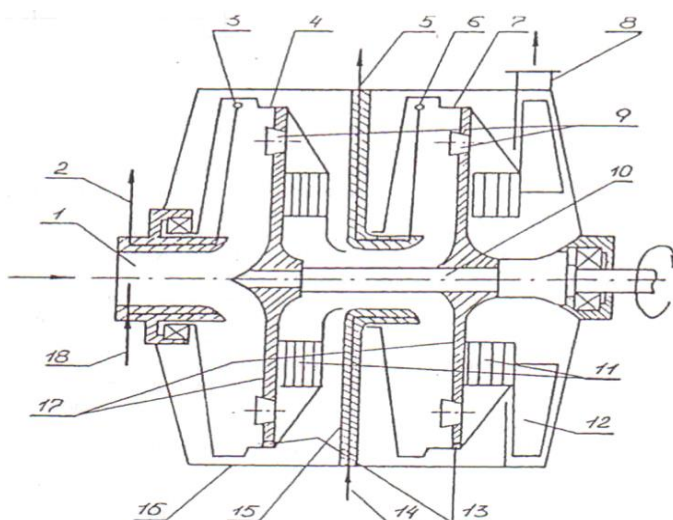
Використання струминного компресора як теплового насосу представлялося досить перспективним внаслідок простоти його конструкції й відсутності в ньому тих елементів, на роботу яких можуть вплинути вібрація, ударні навантаження або відсутність гравітації.

До недоліків конструкції варто віднести необхідність автономного джерела робочої пари.

1.1.2 Масообмінний роздільник-дистилятор [1]

Роздільник-дистилятор (рис. 1.3) складається з корпусу 16, у якому розміщені два ротори - 4 й 7, закріплені на одному валу 10 і приводяться в обертання одним приводом. Ротор 4 є випарником дистилятора, ротор 7 – конденсатором. Перегородками 17 випарник і конденсатор розділені на теплообмінні й сепараційні порожнини, що сполучаються між собою за допомогою патрубків 9 й отворів 13. Дистилятор має убудовані черпаки (напірні трубки) 3 й 6, патрубки для підведення 1 і видалення 8 газу, а також патрубок 18 для подачі вихідної рідини в газовий потік і канал 14 у перегородці 15 для подачі охолодного конденсату.

Дистилятор може бути оснащений лопатковим апаратом 12, що є, власне кажучи, колесом вентилятора.



1-вхідний патрубок; 2-канал виведення залишку, що не випарувався; 3-черпак відбору залишку, що не випарувався; 4-ротор-випарник; 5-канал виведення конденсату на охолодження; 6-черпак відбору конденсату на охолодження; 7- ротор-конденсатор; 8- вихлопний патрубок; 9-пропускний патрубок; 10- вал ротора; 11- сепаратор; 12- вентилятор; 13- отвори для витікання конденсату; 14- канал введення охолодженого конденсату; 15- перегородка; 16- корпус дистилятора; 17- перегородка; 18- канал введення вихідної рідини.

Рисунок 1.3 - Відцентровий масообмінний роздільник-дистилятор

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Працює дистиллятор у такий спосіб.

Ротор приводиться в обертання. Через випарник і конденсатор послідовно прокачується повітря. Вихлопний патрубок 8 може бути підключений трубопроводом до вхідного патрубка 1. Вихідна рідина, підігріта в зовнішньому теплообміннику до заданої температури, подається по трубці 18 у газовий потік на його вході у випарник.

У результаті взаємодії газового потоку й вихідної рідини остання частково випаровується, за рахунок чого збільшується вологовміст і температура повітря. Рідина, що не випарувалася, відбирається з випарника черпаком 3 і по каналу 2 зливається в збірник для рідини з підвищеною концентрацією солей. Газовий потік, очищений від краплинної рідини в результаті дії відцентрової сили, а також проходження через сепаратор 11, надходить у конденсатор 7, де охолоджується нижче температури роси конденсатом, що подається по каналу 14. При цьому відбувається конденсація водяної пари, що втримується в транспортному повітрі й, як наслідок, зниження його вологовмісту.

Конденсат, що утворився, змішується з охолоджуваним конденсатом і черпаком 6 через канал 5 виводиться з дистиллятора на охолодження. Прокачування транспортного повітря через дистиллятор забезпечується убудованим вентилятором 12 або, при його відсутності, повітродувкою, підключеним своїм усмоктувальним патрубком до вихідного патрубка дистиллятора 8.

Основні переваги масообмінного дистиллятора - у можливості об'єднання в одному пристрої функцій дистиллятора й газорідинного роздільника (осушувача повітря), а також у відсутності необхідності вакуумування апарата, тобто він працює при атмосферному тиску.

1.1.3 Парокомпресійний дистиллятор [2]

Застосування механічного компресора для роботи в комплексі з відцентровим вакуумним дистиллятором дозволяє використати вторинну пару, як гріючу. Таким чином, відпадає необхідність у додатковому джерелі пари, що гріє.

Зарубіжним аналогом дистиллятора цього типу є створений у США відцентровий дистиллятор з паровою компресією [1] продуктивністю 2,08 л/год при питомому енергоспоживанні 152 Вт.год/л. У компонуванні на рамі орбітальної станції блок має габарити 0,44 x 0,80 x 1,80 м при масі 107 кг. Швидкість обертання ротора компресора – 2400 - 2800 об/хв, швидкість обертання ротора дистиллятора – 180 - 210 об/хв. Відомості про конструктивні особливості дистиллятора, компресора й привода не приводяться.

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У КПІ перші оцінні розрахунки ймовірних характеристик відцентрового дистилятора з механічним компресором було виконано в 1985 р. Результати розрахунку показали, що для апарата продуктивністю 2 л/год при тиску насичення 0,11 бар і ступені стиску 1,36 потужність компресора повинна становити 39,5 Вт, а питоме енергоспоживання - 70 Вт.год/л.

1.1.4 Багатоступінчастий відцентровий дистилятор [3]

Найпоширенішим способом підвищення економічності дистиляційного пристрою є організація багатоступінчастого процесу випарювання. Сутність його полягає в тім, що вторинна пара одного щабля випарювання використовується як гріюча пара в наступній. При цьому тиск у кожному наступному щаблі підтримується більше низьким, чим у попередній. Якщо не враховувати теплові втрати, то можна вважати, що n-ступінчастий дистилятор дає n-кратне зниження витрат енергії в порівнянні з одноступінчастим.

У КПІ перші розрахунки й ескізні пророблення триступінчастого дистилятора були виконані в 1984...1985 р. Протягом 1986...1988 р. був розроблений проект відцентрового вакуумного дистилятора. У період з 1989 по 1998 рр виготовлено два екземпляри апаратів і проведені попередні їхні випробування. При роботі триступінчастого дистилятора в комплексі з термоелектричною батареєю (як зовнішнє джерело теплоти) питоме енергоспоживання при випарюванні урини склало 165...200 Вт.год/л, а продуктивність апарата по дистиляту - близько 2 л/год.

У наступні роки, аж до 2007 м, у НТУУ “КПІ” тривали роботи з удосконалювання багатоступінчастого дистилятора, а також окремих його вузлів й елементів і досліджувався вплив різних факторів на характеристики дистилятора.

1.2 Висновки за розділом 1

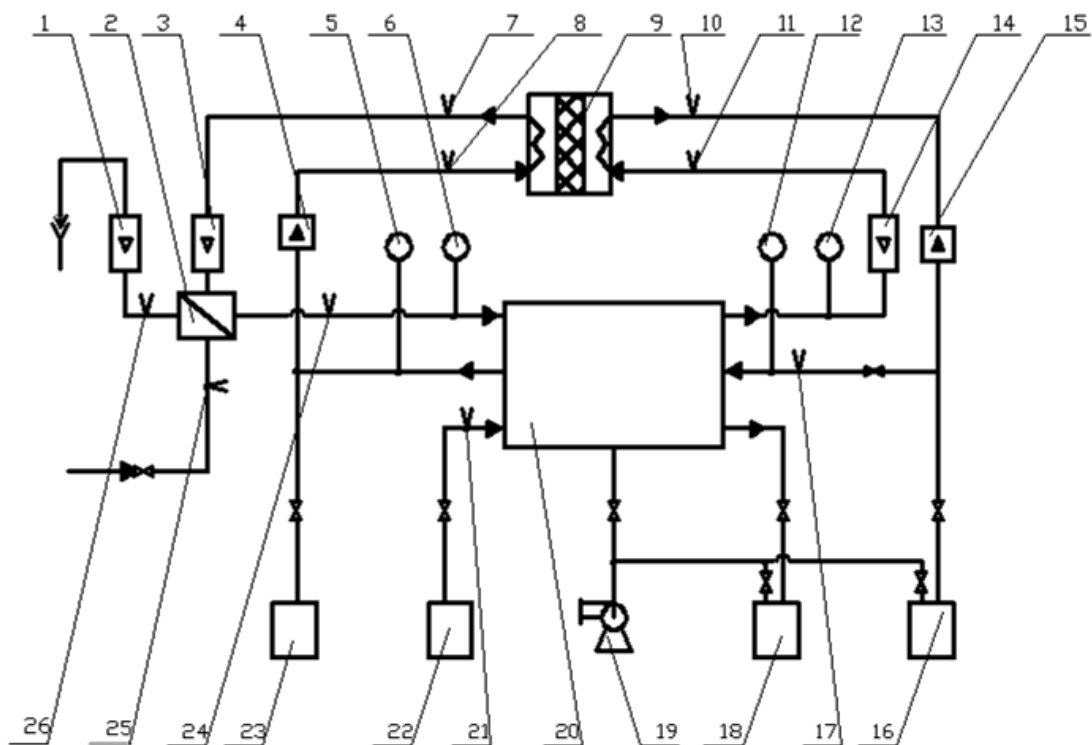
В даному розділі було описано схеми і принцип роботи різних типів відцентрових дистиляторів, вимоги до таких апаратів, їх переваги та недоліки, проаналізувавши які можна стверджувати що багатоступінчастий відцентровий дистилятор є найбільш цікавим і оптимальним апаратом для використання в системах життєзабезпечення за рахунок надійності, компактності і невибагливості до складу розчину.

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРОБКА ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ СТЕНДА ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИСТИЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ З ВІДЦЕНТРОВИМ ДИСТИЛЯТОРОМ ТА ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИМ ТЕПЛОВИМ НАСОСОМ

2.1 Опис технологічної схеми стенда

На рис. 2.1 представлена гідравлічна схема стенда для випробувань багатоступінчастого відцентрового вакуумного дистилятора.



1- ротаметр; 2 - теплообмінник-охолоджувач; 3 - ротаметр; 4 – солемір; 5, 6 – вакуумметри; 7, 8 – термопари Т6 і Т5 відповідно; 9 - термоелектрична батарея; 10 - 11 термопари Т3 і Т2 відповідно; 12, 13 - вакуумметри; 14 – ротаметр; 15- солемір; 16 – ємність для концентрату; 17 – термопара Т7; 18 - ємність для дистиляту-продукту; 19 - вакуум-насос; 20 - відцентровий вакуумний дистилятор; 21 - термопара Т1; 22 - ємність із вихідною рідиною; 23 - ємність із заправним дистилятом; 24, 25, 26 – термопари Т7, Т8 і Т9 відповідно .

Рисунок 2.1 - Гідравлічна схема стенда для випробування багатоступінчастого відцентрового вакуумного дистилятора.

Основні елементи стенда: відцентровий дистилятор 20, тепловий насос-термоелектрична батарея 9, теплообмінник-охолоджувач 2, вакуум-насос 19, й ємності: із заправним дистилятом 23, з вихідною рідиною 22, для збору дистиляту-продукту 18, для збору концентрату 16.

Елементи стенда з'єднані між собою гідравлічними комунікаціями, оснащеними необхідною запірною арматурою.

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ємності із заправним дистилятом 23 і з вихідною рідиною 22 перебувають під атмосферним тиском. Інші ємності, а також внутрішня порожнина ротора дистилятора й гідроавтомат з'єднані з вакуум-насосом, за допомогою якого в них підтримується задане розрідження.

Живлення привода відцентрового дистилятора й термобатареї здійснюється від регульованого джерела постійного струму. Потужність споживана приводом дистилятора й термобатареї розраховується по спаданню напруги й току в ланцюзі споживачів, обмірюваним електронними приладами. Швидкість обертання ротора дистилятора задається, підтримується постійною за допомогою електронної системи і контролюється на моніторі комп'ютера в режимі "in line".

Температура рідин в різних точках системи вимірюється хромель-копелевими термопарами, тиск (вакуум) вимірюється мановакууметрами. Потoki охолоджуючої води на теплообмінник-охолоджувач, дистиляту в "холодному" контурі і розчину, що упарюється, в "гарячому" контурі вимірюються ротаметрами. Солевміст рідин в "холодному" і "гарячому" контурах вимірюється солемірами.

"Холодним" контуром названо контур, що включає черпаковий насос кінцевого конденсатора, тракт із солеміром 4 і термопарою 7, прохолоджуючу порожнину термобатареї 9, тракт із термопарою 8, ротаметром 3, холодильником 2 і термопарою 24, та порожнину кінцевого конденсатора відцентрового дистилятора. "Гарячим" контуром названо контур, що включає черпаковий насос першого ступеня дистилятора, тракт із ротаметром 14 і термопарою 11, гріючу порожнину термобатареї 9, тракт із термопарою 10, солеміром 15 і термопарою 17 та порожнину першої ступені дистилятора.

Робота стенда полягає в наступному.

Система вакуумується за допомогою вакуум-насоса 19. По досягненні необхідного розрідження, що контролюється за допомогою вакууметра, ротор дистилятора приводиться обертання. "Холодний" контур системи заповнюється технологічним дистилятом з ємності 23.

Вихідна рідина з ємності 22 через гідроавтомат надходить спочатку в третю ступінь дистилятора, звідки черпаковим насосом перекачується в другу ступінь, і далі до першої ступені. З першої ступені вихідна рідина черпаковим насосом подається в "гарячий" контур.

При включенні термобатареї 9 і подачі охолодної води на теплообмінник-охолоджувач 2 температура технологічного дистиляту в "холодному" контурі починає знижуватися, у результаті чого він (дистилят) повертається в кінцевий конденсатор дистилятора переохолодженим.

Вихідна рідина в "гарячому" контурі, пройшовши через порожнину термобатареї, що гріє, перегрівається щодо температури насичення й, повернувшись у першу ступінь, миттєво скипає й частково випаровується. Пара, що утворилася, конденсується на теплообмінній поверхні, що ро-

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зділяє першу і другу ступені, викликає випар частини рідини в другій ступені, а пара другої ступені - випар частини рідини в третьої ступені. Пара третьої ступені конденсується на теплообмінній поверхні, що омивається охолодженим технологічним дистилятом і розділяє третю ступінь і порожнину кінцевого конденсатора.

Конденсат, що утворився в усіх трьох ступенях, самопливом перетікає в порожнину кінцевого конденсатора через гідрозатвори звідки черпаковим насосом подається в "холодний" контур.

Заповнення обсягу рідини у всіх ступенях відбувається автоматично шляхом підживлення вихідною рідиною з ємності 22.

Надлишок конденсату в "холодному" контурі приводить до росту рівня рідини в порожнині кінцевого конденсатора. При затопленні черпака надлишок конденсату перетікає у збірник дистиляту-продукту 18 .

Закінчується цикл роботи дистилятора по випарюванні певної кількості вихідної рідини, звичайно - 5 л. Термобатарей відключається , концентрат виштовхується вихідною рідиною з "гарячого" контуру в збірник концентрату 16.

2.2 Методика дослідження вимірювання основних режимних параметрів та методика обробки результатів вимірювання при проведенні експериментів.

2.2.1 Підготовка до роботи

1 У журнал випробувань записується отримана від Керівника випробувань програма випробувань на даний день (кілька днів).

2 Проводиться контрольний огляд стендового приміщення й стенда з метою переконатися, у тім що:

- а) є напруга в електромережі;
- б) є вода й необхідний тиск у водогінній мережі;
- в) всі елементи стенда на відповідних місцях;
- г) вимірювальні прилади підключені до джерела живлення й до відповідних датчиків;
- г) ручки регулювання вихідної напруги на електричних джерелах живлення стенда перебувають в "нульовому" положенні;

д) всі вентилі на сполучних лініях стенда закриті;

У ємність 22 (рис. 2.2) заливається вихідна рідина (в обсязі не менш 6 л).

У заправну ємність 23 заливається 1 л дистиляту.

Посудина Дьюара заправляється льодом й у нього містяться холодні спаї термопар.

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2.2 Порядок включення стенда й проведення випробувань

1 На вимірювальні прилади подається електрична напруга.

2 Після виходу приладів на робочий режим включається вакуум-насос 19, відкриваються відповідні вентиля для вакуумування системи.

3 По досягненні в системі тиску 30 мбар подається охолодна вода на зовнішній холодильник 2.

4 Включається привод дистилятора шляхом плавного (протягом 1,5 - 2 хв.) збільшення вихідної електричної напруги на блоці живлення до значення, заданого за програмою (або до заданого за програмою значення швидкості обертання ротора).

5 Відкриваються лінія зливу дистиляту-продукту в ємність 18.

6 Відкривається лінія подачі заправного дистиляту із ємності 23 в "холодний" контур. Після появи рідини на зливі дистиляту-продукту в ємність 18 лінія подачі заправного дистиляту закривається.

7 Відкривається лінія подачі вихідної рідини із ємності 22 в дистилятор і, відповідно, в "гарячий" контур. Процес заповнення "гарячого" контуру контролюється по числовим показанням електронних ваг, на яких розміщена ємність з вихідною рідиною.

Після заповнення "гарячого" контуру, про що буде свідчити припинення витрати рідини із ємності 22, система повністю готова до проведення випробувань.

8 На термоелектричну батарею 9 подається задана по програмі електрична напруга й починається відлік часу.

9 Температура рідини в "гарячому" контурі на виході з термоелектричної батареї контролюється по показанням термопари 10. У випадку перевищення показанням цієї термопари значення 3,30 мВ (що відповідає 50 °C) треба або збільшити витрату охолодної води на теплообмінник-охолоджувач, або знизити вхідну електричну напругу на термобатареї. При цьому в журналі випробувань робиться запис і приймається рішення щодо продовження випробування.

10 Якщо випробування протікає нормально, то через кожні 6 (12) хвилин проводяться зняття показань всіх вимірювальних приладів стенда і запис їх в журнал випробувань. У спеціальних випробуваннях інтервали між вимірами можуть змінюватися у відповідності із програмою випробувань.

11 Після одержання 5 л дистиляту-продукту виконується останній вимір досліджуваних параметрів.

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2.3 Зупинка стенда

- 1 Від джерела електроживлення відключається термоелектрична батарея 9.
- 2 Перекривається подача вихідної рідини в дистиллятор з ємності 22.
- 3 Через 10 хв вміст "гарячого" контуру зливається в збірник концентрату 16 і відключається подача охолодної води на зовнішній холодильник 2.
- 4 Ємність з вихідною рідиною замінюється на ємність з дистилатом і через лінію подачі вихідної рідини в "гарячий" контур подається дистилат для промивання тракту "гарячого" контуру і порожнин усіх трьох ступенів від концентрату.
- Після п'ятихвилинного промивання вміст "гарячого" контуру зливається в ємність для концентрату 16.
- 5 В залежності від програми випробувань операція по промивці "гарячого" контуру може повторюватись до досягнення певної чистоти (солемісту) в контурі.
6. По закінченню промивання "гарячого" контуру і останнього зливу його вмісту в ємність 16 привод дистиллятора відключається від джерела електроживлення.
- 7 Вимірювальні прилади відключаються від джерела електроживлення.
- 8 Відключаються від ресивера ємність для збору дистилату-продукту 18 й ємність для концентрату 16.
- 9 Розкриваються ємності 16 і 18 і для виміру щільності дистилату-продукту і концентрату відбираються проби в кількості по 100 мл. При необхідності (по програмі випробувань) зі збірника дистилату-продукту 18 додатково відбирається 1 л дистилату для хімічного аналізу.
- 10 Вміст ємностей 16 і 18, що залишається, зливається в каналізацію, ємності двічі промиваються дистилатом і знову включаються в схему стенда.
- 11 Включається вакуум-насос. При досягненні необхідного вакууму в системі вакуум-насос відключається.
- 12 Проводиться комп'ютерна обробка результатів вимірів і запис результатів обробки в журнал випробувань.
- 13 При необхідності (по програмі випробувань) 1 л дистилату продукту передається в спеціалізовану організацію для проведення хімічного аналізу на склад і кількість домішок. Отримані результати аналізу записуються в журнал випробувань.

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2.4 Вимірювані й розрахункові величини

Вимірювані величини :

- тиск у системі (по вакуометру на ресивері), p (Па);
- тиск на окремих ділянках в "холодному" і "гарячому" контурах – по показанням мановакуометрів 5, 6, 12, 13, $p1 - p4$ (рис. 2.1), (Па);
- об'ємна витрата рідин:
 - технологічного конденсату по показанням на ротаметрі 4; $G_{\text{хк}}$ (л/год);
 - рідини, що упарюється по показанням на ротаметрі 14; $G_{\text{гк}}$ (л/год);
 - охолодної води по показанням на ротаметрі 1; $G_{\text{хк}}$ (л/год);
- швидкість обертання ротора дистилятора , n (об/хв);
- спадання електричної напруги на приводі дистилятора , $U_{\text{пр}}$ (В),
- спадання напруги на вимірювальному шунті в струмовій лінії привода дистилятора, $U_{\text{ш пр}}$ (мВ);
- спадання напруги на термобатарей, $U_{\text{ТЕБ}}$ (В);
- спадання напруги на вимірювальному шунті в струмовій лінії термобатарей, $U_{\text{ш ТЕБ}}$ (мВ);
- контрольний відрізок часу, τ (хв);
- ЕРС термоелектричних датчиків температури $T_1...T_9$, Е (мВ);
- температура навколишнього повітря, $T_{\text{п}}$ (°С);
- показання електронних ваг:
 - маса вихідної рідини на початку контрольного відрізка часу, $M_{\text{вр1}}$, (г);
 - маса вихідної рідини в кінці контрольного відрізка часу, $M_{\text{вр2}}$, (г);
 - маса дистиляту-продукту на початку контрольного відрізка часу, $M_{\text{дп1}}$, (г);
 - маса дистиляту-продукту в кінці контрольного відрізка часу, $M_{\text{дп2}}$, (г);
- солевміст дистиляту в в "холодному" і "гарячому" контурах, C_1 і C_2 , (мг/л);
- щільність вихідної рідини, $\rho_{\text{в}}$ (кг/м³);
- щільність концентрату, $\rho_{\text{к}}$ (кг/м³);
- щільність дистиляту-продукту, $\rho_{\text{д}}$ (кг/м³).

Величини, що розраховують:

1 Повна електрична потужність установки, Вт

$$N_{\text{п}} = N_{\text{пр}} + N_{\text{ТЕБ}} \quad (2.1)$$

2 Потік теплоти, переданої від термобатарей дистилятору через "гарячий" контур, Вт

$$Q_{\text{г}} = G_{\text{гк}} \cdot c_{\text{гк}} (T_3 - T_2) \quad (2.2)$$

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 Потік теплоти, Вт, переданої за допомогою теплового насоса (термобатарей) з "холодного" контуру в "гарячий"

$$Q_{\text{тбх}} = G_{\text{хк}} \cdot c_{\text{хк}}(T_5 - T_6) \quad (2.3)$$

4 Потік теплоти, Вт, відведеної з дистилятора за допомогою зовнішнього теплообмінника-охолоджувача

$$Q_{\text{зх}} = G_{\text{хк}} \cdot c_{\text{хк}}(T_6 - T_7) \quad (2.4)$$

5 Загальний потік теплоти, відведеної з дистилятора по "холодному" контуру, Вт

$$Q_{\text{х}} = Q_{\text{тбх}} + Q_{\text{зх}} \quad (2.5)$$

6 Тепловий небаланс між "гарячим" й "холодним" контурами, %

$$\Delta Q_1 = (Q_{\text{г}} - Q_{\text{х}}) / Q_{\text{г}} \cdot 100 \quad (2.6)$$

7 Корисно використаний потік теплоти, Вт

$$Q_{\text{кор}} = G_{\text{д}} \cdot r \quad (2.7)$$

8. Небаланс витраченого й корисно використаного потоків теплоти, %

$$\Delta Q_2 = (Q_{\text{кор}} - n \cdot Q_{\text{г}}) / Q_{\text{кор}} \cdot 100 \quad (2.8)$$

9 Питома витрата енергії на виробництво дистиляту, Вт.год/л.

$$\varphi_{\text{д}} = 3600 N_{\text{п}} / G_{\text{д}} \quad (2.9)$$

10 Коефіцієнт теплової ефективності термобатарей

$$\varphi_{\text{ТЕБ}} = Q_{\text{г}} / N_{\text{ТЕБ}} \quad (2.10)$$

Робочі рідини

Випробування триступінчатого відцентрового вакуумного дистилятора проведені на трьох рідинах - воді, розчині солі й урині.

Вода. Використалася дистильована вода, отримана в електричному дистиляторі. Солевміст вихідної води становив менш 5 мг/л.

Розчин солі. Використався водяний розчин NaCl з початковою концентрацією $C_0 = 2,0 \dots 2,6 \%$ (мас)

Урина. Використався натуральний продукт в суміші із водою і консервантом.

2.3 Висновки за розділом 2

В даному розділі було наведено опис технологічної схеми стенда, методику дослідження вимірювання основних режимних параметрів та методику обробки результатів вимірювання при проведенні експериментів.

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ОСНОВНЕ ТА ДОПОМІЖНЕ ОБЛАДНАННЯ

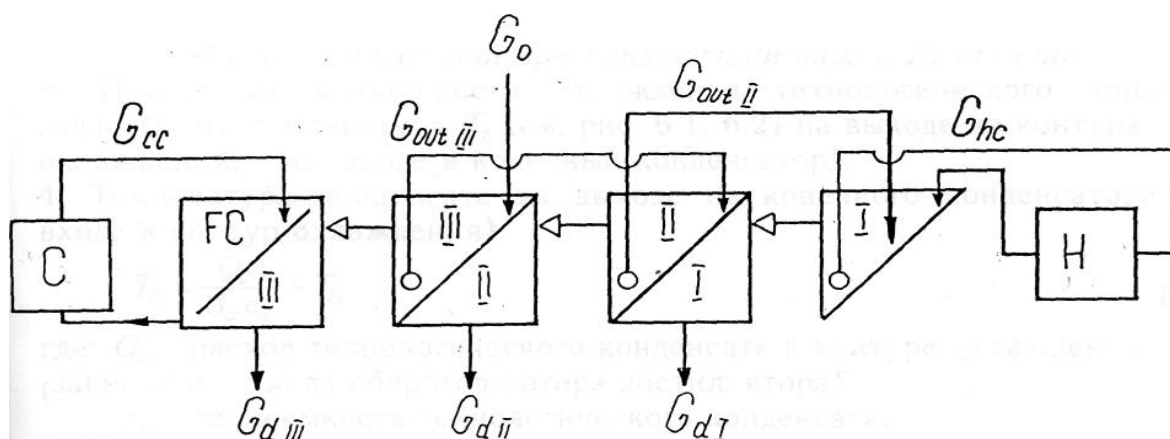
3.1 Відцентровий дистилятор (конструкція та розрахунок)

На рис. 3.1 представлена розрахункова схема триступінчастого дистилятора, на прикладі якого представлено методику розрахунку.

На схемі показані ступені дистилятора I, II й III, кінцевий конденсатор FC, зовнішній нагрівач Н, і охолоджувач С; показані напрямки потоків пари й конденсату в ступенях, охолоджуючої рідини (конденсату) в контурі охолодження й рідини, що випарюється (урини), у контурі нагрівання. Як нагрівач може бути використані електричний нагрівач або термоелектрична батарея.

Для розрахунку параметрів дистилятора необхідно знати:

- конструктивні характеристики дистилятора (число й геометричні параметри ступенів і теплообмінних поверхонь);
- теплопровідність матеріалу теплообмінних поверхонь;
- залежність продуктивності черпакових насосів від швидкості обертання ротора дистилятора;
- параметри вихідної рідини.



I, II, III - ступені;

Н - нагрівач;

С - охолоджувач;

Рисунок 3.1. Розрахункова схема триступінчастого дистилятора.

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Послідовність теплового розрахунку

1 Задається швидкість обертання ротора дистилятора n_I , об/хв, і величина теплового потоку Q_I , Вт, що підводиться в перший ступінь дистилятора.

У випадку використання термобатареї

$$Q_I = N_{tb} \cdot \varphi_{tb}, \quad (3.1)$$

де N_{tb} - електрична потужність термобатареї, Вт;

φ_{tb} - тепла ефективність батареї, що залежить від різниці температур на гарячих і холодних спаях термобатареї.

2 Тепловий потік, Вт, переданий у кожен наступний ступінь дистилятора:

$$Q_n = 0,98^{(n-1)} \cdot Q_I, \quad (3.2)$$

де коефіцієнтом 0,98 ураховуються теплові втрати в кожному ступені дистилятора;

Q_I – величина теплового потоку, Вт, що підводиться в перший ступінь дистилятора.

Для третього ступеня

$$Q_{III} = 0,96 Q_I$$

Розрахунок тепловіддачі при конденсації пари в III ступені.

3 Виходячи з можливості охолодження технологічного конденсату задається його температура T_6 , °С, (див. рис. 3.1) на виході з контуру охолодження, (на вході в кінцевий конденсатор).

4 Температура конденсату, °С, на виході з кінцевого конденсатора, (на вході в контур охолодження)

$$T_4 = \frac{Q_{III}}{G_{cc} c_{cc}} + T_6 \quad (3.3)$$

де G_{cc} – витрата технологічного конденсату, кг/с, в контурі охолодження (залежить від швидкості обертання ротора дистилятора);

c_{cc} - теплоємність технологічного конденсату, кДж/кг·К;

T_6 – температура технологічного конденсату на виході з контуру охолодження, °С.

Теплофізичні параметри технологічного конденсату в контурі охолодження визначаються за середньою температурою, °С

$$\bar{T}_{cc} = \frac{T_4 - T_6}{2} \quad (3.4)$$

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6 Середня товщина плівки рідини, м, на теплообмінній поверхні кінцевого конденсатора

$$\bar{\delta}_{cc} = 0,65 R_{out} \left(\frac{G_{cc} \nu_{cc}}{\rho_{cc} \bar{\omega}^2 R_{out}} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3.5)$$

де R_{out} – радіус на виході з каналу, м;

ν_{cc} – коефіцієнт кінематичної в'язкості технологічного конденсату, м²/с;

ρ_{cc} – густина технологічного конденсату, кг/м³;

$\bar{\omega}$ – кутова швидкість обертання теплообмінної поверхні, град/с.

7 Середня швидкість плинку плівки, м/с, розраховується за формулою

$$w_{nl} = \frac{G_{cc}}{2\pi \bar{\delta}_{cc} \rho_{cc}} \quad (3.6)$$

8 Числа подібності

$$Re_{cc} = \frac{G_{cc}}{2\pi R_{cc} \nu_{cc} \rho_{cc}} \quad (3.7)$$

$$Pr_{cc} = \frac{\nu_{cc}}{a_{cc}} \quad (3.8)$$

$$Nu_{cc} = 0,108 Re_{cc}^{0,52} Pr_{cc}^{0,45} \quad (3.9)$$

9 Середній коефіцієнт тепловіддачі, Вт/м²·К, в кінцевому конденсаторі

$$\bar{\alpha}_{fc} = \frac{Nu_{cc} \lambda_{cc}}{\left(\frac{\nu_{cc}}{\bar{\omega}} \right)} \quad (3.10)$$

де λ_{cc} – теплопровідність технологічного конденсату, Вт/м·°С;

10 Середньологарифмічний температурний напір, °С, у кінцевому конденсаторі

$$\Delta \bar{T}_{fc} = \frac{Q_{III}}{\bar{\alpha}_{fc} F_{fc}}, \quad (3.11)$$

де F_{fc} - теплообмінна поверхня кінцевого конденсатора, м².

11 Температура насичення T_{sIII} , °С, в конденсаторі (у третій ступені) дистилятора визначається із залежності

$$\Delta \bar{T}_{fc} = \frac{T_4 - T_6}{\ln \frac{T_{sIII} - T_6}{T_{sIII} - T_4}}. \quad (3.12)$$

12 По T_{sIII} , °С, визначаються параметри ρ_{III} і r_{III} .

13 Продуктивність третьої ступені по дистилляту, кг/с, розраховують за формулою

$$G_{dIII} = \frac{Q_{III}}{r_{III}} \quad (3.13)$$

14 Витрата вихідної рідини, кг/с, визначають за формулою

$$G_0 = 3G_{dIII}. \quad (3.14)$$

Далі розрахунок виконується покроковим методом, тобто розраховується послідовна зміна параметрів дистиллятора через визначені відрізки часу τ . Чим менше відрізок часу, тим вища точність картини зміни параметрів. Для практичних розрахунків можна рекомендувати $\tau_i = 3-5$ хв (i – порядковий номер кроку розрахунку).

15 Приймається $i = 1$.

16 Об'єм дистилляту, m^3 , що утворився в третій ступені, і, відповідно, об'єм вихідної рідини, m^3 , що надійшла в дистиллятор на i -кроці

$$V_{dIII(i)} = \frac{G_{dIII} \tau}{\rho_{III}}, \quad (3.15)$$

$$V_{u_0} = \frac{G_0 \tau}{\rho_0}. \quad (3.16)$$

де V_{u_0} – об'єм вихідної рідини, що надійшов в III ступінь, m^3 ;

V_{stIII} – об'єм рідини, що перебуває в III ступені, m^3 ;

ρ_0 – початкова густина вихідної рідини, kg/m^3 ;

C_0 – початковий солеміст в рідини;

ρ_{III} – густина рідини після випарювання її в третьому ступені, kg/m^3 ;

C_{III} – солеміст рідини, що перебуває в третій ступені.

17 Об'єм рідини, m^3 , що перейшов із третьої ступені в другу

$$V_{outIII(i)} = V_{u_0} - \frac{G_{dIII} \tau}{\rho_{III}}. \quad (3.17)$$

де V_{outIII} – об'єм рідини, що вийшла з III ступеня, m^3 ;

18 Солеміст у ступенях при покроковому методі розрахунку

$$C_{III(i)} = \frac{V_{stIII} \rho_{III(i-1)} C_{III(i-1)} + V_{u_0} \rho_0 C_0}{(V_{stIII} + V_{outIII(i)}) \rho_{III(i)}}, \quad (3.18)$$

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_{III(i)} = \frac{V_{stII} \rho_{II(i-1)} C_{II(i-1)} + V_{outIII_i} \rho_{III_i} C_{III_i}}{(V_{stII} + V_{outII(i)}) \rho_{II(i)}}, \quad (3.19)$$

$$C_{III(i)} = \frac{(V_{stI} + V_{hc}) \rho_{I(i-1)} C_{I(i-1)} + V_{outII(i)} \rho_{II(i)} C_{II(i)}}{(V_{stI} + V_{hc}) \rho_{I(i)}}. \quad (3.20)$$

де V_{stII} – об'єм рідини, що перебуває в II ступені, м³;

ρ_0 – густина рідини в II, кг/м³;

C_0 – солевміст в рідині в II ступені;

V_{stI} – об'єм рідини, що перебуває в I ступені, м³;

ρ_I – густина рідини після випарювання її в I ступені, кг/м³;

C_I – солевміст рідини, що перебуває в I ступені.

V_{hc} – об'єм рідини, що міститься в системі, м³.

19 Для $i = 1$ приймається

$$\rho_{III(i=1)} = \rho_{II(i-1)} + \rho_{I(s-1)} = \rho_0; \quad (3.21)$$

$$C_{III(i-1)} = C_{II(i-1)} = C_{I(i-1)} = C_0. \quad (3.22)$$

20 Температурна депресія, °C, в третій ступені

$$\Delta T_{depIII(i)} = 1 \cdot 10^{-5} C^3 + 8 \cdot 10^{-4} C^2 + 4,02 \cdot 10^{-2} C \quad (3.23)$$

де $C = C_{III(i)}$ (по формулі 3.18).

21 Середня температура рідини, °C, в третій ступені

$$T_{uIII(i)} = T_{sIII} + \Delta T_{depIII(i)} \quad (3.24)$$

22 Тепловий потік, Вт, через теплообмінну стінку, що розділяє другу і третю ступені

$$Q_{II} = 0,98 Q_I.$$

Розрахунок тепловіддачі при пароутворенні в III ступені

23 Критичне значення радіуса на дисковій частині теплообмінної поверхні визначається за формулою

$$Re_{kr} = \frac{G_0 - \frac{Q_{II}}{F_{II}} \pi \frac{R_{kr}^2}{r_{III}}}{2\pi R_{kr} \nu_{III} \rho_{III}}, \quad (3.25)$$

де Re_{kr} – критичне значення числа Рейнольдса, приймаю $Re_{kr} = 50$;

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

R_{kr} – критичне значення радіуса, на якому ламінарний плин плівки переходить у турбулентне, що відбувається при русі плівки в напрямку від центра обертання до периферії, м.

Тут і далі в розрахунках теплообміну в третій ступені значення теплофізичних параметрів рідини визначаються по T_{sIII} .

24 Середнє значення ламінарної складової для диска $\bar{\alpha}_{disk\ I}$, Вт/м² · К, визначається за формулою

$$\bar{\alpha}_I = \frac{\bar{\alpha} - \bar{\alpha}_t \frac{R_{kr}^2}{R_{out}^2}}{\frac{R_{in}^2 - R_{out}^2}{R_{out}^2}} \quad (3.26)$$

25 Якщо $R_{out\ disk} > R_{kr}$, то розраховується середнє значення турбулентної складової тепловіддачі для диска $\bar{\alpha}_{disk\ t} = \frac{\lambda_f \cdot 0.4 \cdot Pr_f \eta_\delta^{1/3}}{\left(\frac{V_f^2}{\omega^2 R}\right) \cdot \left(\ln \frac{\sqrt{\eta_\delta + \sqrt{\eta_\delta - 11.6}}}{\sqrt{\eta_\delta - \sqrt{\eta_\delta - 11.6}}} + 4.65 Pr_f\right)}$, Вт/м² · К, по формулі

(3.27)

26 Середній коефіцієнт тепловіддачі, Вт/м² · К, для всієї поверхні диска

$$\bar{\alpha}_{edisk\ III} = \bar{\alpha}_{disk\ I} \frac{R_{out}^2 - R_{kr}^2}{R_{out}^2} + \bar{\alpha}_{disk\ t} \frac{R_{kr}^2}{R_{out}^2}. \quad (3.28)$$

27 Розрахунок тепловіддачі на конусній частині теплообмінної поверхні проводиться аналогічно, але з використанням відповідних значень $R_{con\ in}$ і $R_{con\ out}$.

Розрахунок тепловіддачі при конденсації пари в II ступені

28 Задаються значення T_{sII} і $T_{w\ con\ II}$ – відповідно температура насичення, °С, в другій ступені і температурою стінки, °С, на якій конденсується пара.

29 Коефіцієнти тепловіддачі при конденсації пари на дисковій і конусній частинах ($\bar{\alpha}_{c\ disk\ II}$, $\bar{\alpha}_{c\ con\ II}$, $\bar{\alpha}_{c\ con\ II}$), Вт/м² · К, розраховуються аналогічно пунктам 24–27.

30 Температура насичення в другій ступені, °С, розраховується за формулою

$$T_{sII} = T_{sIII} + \Delta T_{II-III} \quad (3.29)$$

31 По температурі $T_{s\ II}$ визначаються значення $\rho_{II(i)}$ і $r_{II(i)}$.

32 Продуктивність другої ступені, кг/с, по дистилату

$$G_{dII(i)} = \frac{Q_{II}}{r_{II(i)}}. \quad (3.30)$$

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

33 Об'єм дистилляту, м³, отриманого в другій ступені за термін τ

$$V_{dII(i)} = \frac{G_{dII(i)} \tau}{\rho_{II(i)}} \quad (3.31)$$

34 Об'єм рідини, м³, що перетікає з другої ступені в першу

$$V_{outII(i)} = V_{outIII(i)} - \frac{G_{dII} \tau}{\rho_{II}}. \quad (3.32)$$

40 Солевміст у другій ступені на першому кроці розрахунку $C_{II(i)}$ визначається по формулі (3.18).

41 Температурна депресія, °C, в другій ступені $\Delta T_{depII(I)}$ розраховується по формулі (3.23) з урахуванням $C = C_{II(i)}$.

42 Середня температура рідини, °C, в другій ступені

$$T_{uII(i)} = T_{sII} + \Delta T_{depII(I)}. \quad (3.33)$$

43 Розрахунок тепловіддачі при пароутворенні в другій ступені, при конденсації в першій ступені, а також температурного перепаду між першою і другою ступінню і температури насичення в першій ступені виконується аналогічно по пп. 23...44.

44 Температура рідини, °C, на виході з першої ступені дистиллятора (на вході в контур нагрівання)

$$T_2 = T_{uI} \quad (3.34)$$

45 Температура, °C, рідини на виході з контуру нагрівання (на вході в першу ступінь)

$$T_3 = T_2 = \frac{Q_1}{G_{hk} c_{hk}} \quad (3.35)$$

46 Загальний об'єм дистилляту, м³, отриманого в трьох ступенях на першому кроці

$$V_{d(i)} = V_{dIII(i)} + V_{dII(i)} + V_{dI(i)} \quad (3.36)$$

47 Продуктивність дистиллятора, кг/с, на першому кроці

$$G_{d(i)} = G_{dIII(i)} + G_{dII(i)} + G_{dI(i)}. \quad (3.37)$$

48 Питома витрата енергії на першому кроці

$$\varphi_{dr} = \frac{N_{dr} + N_h}{G_{d(i)}}, \quad (3.38)$$

де N_h – теплова потужність нагрівача, приймаю $N_h = N_{eh}$ – для системи з електронагрівником, $N_h = N_{tb}$ – для системи з термобатареєю.

49 Приймається $i = 2$ і розрахунок з п. 16 повторюється.

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Термоелектричний трансформатор теплоти

Термоелектрична батарея (ТЕБ), яка була використана в розробленій системі регенерації води, являє собою пристрій, що складається із сукупності елементів, що забезпечують обмін теплотою між термоелектричними модулями й потоками рідини. Конструктивно ТЕБ складається з теплообмінних елементів, з'єднаних у секції по потоку теплоносіїв послідовно. Секції контурів нагрівання й охолодження ідентичні й з'єднані по потоку теплоносіїв паралельно. Між теплообмінними елементами розташовані термоелектричні модулі, з'єднані електрично паралельно. Маса ТЕБ - 5,7 кг, габарити (довжина х ширина х висота) – 480 х 85 х 185 мм. Споживана електрична потужність $N_{\text{ТЕБ}}$ - до 600 Вт. На рис. 3.2 представлено фото термоелектричної батареї.

Коефіцієнт ефективності або опалювальний коефіцієнт, розрахований як відношення теплового потоку, відведеного з порожнини нагрівання батареї, і підведеної електричної потужності

$$Q_{\Gamma} / N_{\text{ТЕБ}} = G_{\Gamma} c_{\Gamma} (t_{\Gamma \text{ вих}} - t_{\Gamma \text{ вх}}) / I U ,$$

де G_{Γ} – масова витрата рідини в “гарячому” контурі, кг/год;

c_{Γ} – теплоємність рідини в “гарячому” контурі, Дж/кг·К;

$t_{\Gamma \text{ вих}}$ – температура рідини в “гарячому” контурі на виході з порожнини нагрівання ТЕБ, °С;

$t_{\Gamma \text{ вх}}$ – температура рідини в “гарячому” контурі на вході в порожнину нагрівання ТЕБ, °С;

I, U – електричний струм і напруга живлення ТЕБ, відповідно.



Рис. 3.2 – Термоелектрична батарея

3.3 Висновки за розділом 3

В розділі 3 було розглянуто конструкцію триступінчатого відцентрового дистилятора, методи розрахунку тепловіддачі при випаровуванні, конденсації в кожній ступені та конденсаторі, розглянуто та описано термоелектричну батарею, наведено її габаритні характеристики, споживану електричну потужність, розрахунковий коефіцієнт ефективності.

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ГІДРОДИНАМІКИ Й ТЕПЛООБМІНУ ПРИ КОНДЕНСАЦІЇ І ПАРОТВОРЕННІ В ПЛІВЦІ РІДИНИ НА ПОВЕРХНІ, ЩО ОБЕРТАЄТЬСЯ

Багатоступінчастий відцентровий дистилятор із зовнішнім джерелом теплоти у вигляді електричного нагрівача або термоелектричної батареї є, по суті, опріснювальною установкою. Для визначення параметрів такої установки необхідні тепловий розрахунок і розрахунок концентрацій по ступенях.

Ефективність такої установки залежить від інтенсивності тепломасообмінних процесів, що протікають в дистиляторі, схеми руху потоків й ефективності термобатарії.

Для розрахунку тепломасообміну в дистиляторі необхідно знання гідродинамічних характеристик плівки й коефіцієнтів тепловіддачі при конденсації пари й паротворенні рідини на обертовій поверхні.

4.1 Гідродинаміка плівки рідини на обертовій поверхні

Процеси випарювання рідини й конденсації пари в дистиляторі здійснюються на теплообмінних поверхнях, що обертаються, виконаних у формі диска, конуса або циліндра (рис. 4.1).

Основними гідродинамічними параметрами плівки рідини, що змочує поверхню обертання, є її середня товщина й швидкість плину. При цьому необхідно знання величини мінімальної витрати рідини, при якому забезпечується змочування рідиною всієї поверхні теплообміну.

Середня швидкість плину рідкої плівки \bar{w}_f , м/с, розраховується по формулі

$$\bar{w}_f = \frac{\bar{G}_f}{2\pi\delta_f\rho_f R} \quad (4.1)$$

де G_f – масова витрата плівки рідини, кг/с;

ρ – густина рідини, кг/м³;

R – радіус диска, м.

Приймаємо $G_f=80$ кг/год, $\rho=1000$ кг/м³, R – із рис. 4.1.

До початку робіт у КПП по теоретичному дослідженню гідродинаміки плівки рідини в літературі була інформація лише по визначенню середньої товщини плівки, що ламінарно розтікається по обертовому диску. При цьому експериментальні дослідження локальних і середніх товщин плівки мали суперечливий характер і були нечисленні [6-8].

Виміру локальних товщин плівки δ_f , м, методом електропровідності [9-12] проводилися в КПП з 1978 по 1984 р.. Дослідження показали, що при ламінарному плинні плівки рідини, тобто при $Re_f < 50$ (де $Re_f = G_f / 2\pi R \nu_f \rho_f$) експериментальні значення середньої товщини плівки, м, рідини можуть бути визначені по формулі

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\bar{\delta}_f = 0.65R \left(\frac{G_f v_f}{\rho_f \omega^2 R^5} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (4.2)$$

При $Re_f > 50$ товщина плівки рідини, м, змінюється за законом, характерному для турбулентного плину плівки під дією сил гравітації, і визначається по формулі

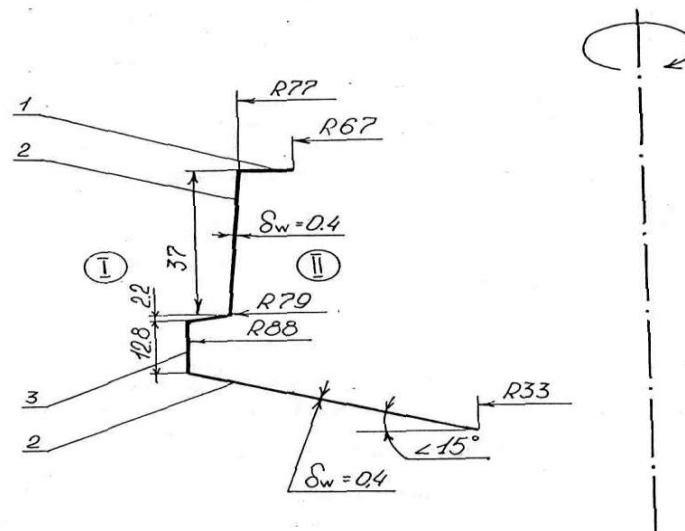
$$\bar{\delta}_f = 0.43 \left(\frac{v_f^2}{\omega^2 R} \right)^{\frac{1}{3}} Re_f^{0.66} \quad (4.3)$$

Витрата рідини, кг/с, що подається на обертову теплообмінну поверхню, повинна перевищувати те мінімальне значення G_{\min} , нижче якого можливий розрив суцільної плівки під дією сил поверхневого натягу. У випадку розриву плівки плин рідини на обертовій поверхні буде струминним. У випадку випарювання рідини з наявністю в ній розчинених солей почнеться інтенсивне відкладення солей на осушеній частині поверхні.

4.2 Геометрія теплообмінної поверхні

На рис. 4.1 представлена геометрія теплообмінної поверхні багатоступінчастого дистилятора й її розміри для триступінчастого варіанта апарата, виготовленого в КПП.

Процес випару рідини проходить на внутрішній стороні обертової теплообмінної поверхні, що складається з дискової, конусної й циліндричної частин, а конденсація - на її зовнішній стороні.



I - зона конденсації; II - зона випару;

1 - дискова частина; 2 - конусна частина; 3 - циліндрична частина.

Рисунок 4.1. - Геометрія теплообмінної поверхні триступінчастого дистилятора

4.3 Тепловіддача при конденсації пари на плівці рідини

Процес конденсації пари з парогазової суміші на обертовій плівці рідини відбувається на виході пари з останнього ступеня дистилятора. Охолоджуюча рідина подається на обертovu дискову поверхню, і пара конденсується, безпосередньо контактуючи із плівкою рідини. У роботах [20-21] досліджувався процес конденсації водяної пари на обертovому диску й конусі. В [15] результати експериментальних досліджень [20, 22] узагальнені залежністю

$$Nu_f = 0.108 Re_f^{0.52} Pr_f^{0.45}, \quad (4.4)$$

де Nu_f – число Нусельта для потоку плівки;

Re_f – число Рейнольдса для потоку плівки;

Pr_f – число Прандтля для потоку плівки.

Також Nu_f можна розраховувати за формулою

$$Nu_f = \frac{\bar{\alpha}}{\lambda_f} \left(\frac{v_f}{\omega} \right)^{0.5} \quad (4.5)$$

де $\bar{\alpha}$ – середній коефіцієнт тепловіддачі від водяної пари до плівки охолоджувача, Вт/м²·К.

Кутова швидкість, град/с, розраховується за формулою

$$\omega = 2\pi n / 60$$

де n – частота обертів диска, об/хв;

Приймається $n = 1200$ об./хв;

Площа поверхні, м², необхідної для конденсації пари на плівці охолоджувача, розраховується по формулі

$$F_c = \frac{Q}{\bar{\alpha} \cdot \Delta T} = \frac{r \cdot G_{ste}}{\bar{\alpha} \cdot \Delta T}, \quad (4.6)$$

4.4 Тепловіддача при паротворенні в плівці рідини на обертовій поверхні

Результати експериментальних і теоретичних досліджень процесу паротворення в рідині на обертovих поверхнях представлені в роботах [3, 23, 24].

При $Re_f > 50$, тобто при турбулентному плині плівки рідини, середній коефіцієнт тепловіддачі на поверхні диска визначається по формулі [25]

$$\bar{\alpha} = \bar{\alpha}_l \frac{R_{in}^2 - R_{out}^2}{R_{out}^2} + \bar{\alpha}_t \frac{R_{kr}^2}{R_{out}^2}. \quad (4.7)$$

де R_{in} – радіус початку зрошення диска, м ;

R_{out} – повний радіус диска, м.

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\bar{\alpha}_l$ - ламінарна складова, Вт/м²·К, що розраховується по (3.26) з урахуванням того, що приймається: $R_{in} = R_{kr}$ і

$$Re_f = \frac{G_f - q\pi \frac{R_{kr}^2}{r}}{2\pi R_{out} v_f \rho_f}; \quad (4.8)$$

R_{kr} - критичне значення радіуса, на якому ламінарний плин плівки переходить у турбулентне, що відбувається при русі плівки в напрямку від центра обертання до периферії, м;

$\bar{\alpha}_t$ - турбулентна складова, Вт/м²·К, визначається по формулі

$$\bar{\alpha}_t = \frac{1}{F_{kr} - F_{in}} \int_{F_{in}}^{F_{kr}} \alpha_t dF. \quad (4.9)$$

У формулі (4.9) локальне значення α_t визначається із залежності

$$\alpha_t = \frac{0.4 \cdot Pr_f \eta_\delta^{1/3}}{\ln \frac{\sqrt{\eta_\delta} + \sqrt{\eta_\delta - 11.6}}{\sqrt{\eta_\delta} - \sqrt{\eta_\delta - 11.6}} + 4.65 Pr_f} \cdot \left(\frac{v_f^2}{\omega^2 R} \right)^{1/3}.$$

(4.10)

Зв'язок безрозмірного параметра плівки $\eta_\delta = \frac{(\omega^2 R)^{1/2} \delta_f^{3/2}}{v_f}$ й числа Re_f наступний

$$Re_f = \frac{G_f - q\pi R^2}{2\pi R v_f \rho_f r} = \eta_\delta (3.0 + 2.5 \ln \eta_\delta) - 39. \quad (4.11)$$

Із залежності (4.8) можна визначити величину R_{kr} , якщо в ліву частину її підставити $Re_f = 50$.

Для розрахунку тепловіддачі на обертовому конусі при значенні кута між утворюючої конуса й віссю обертання $\beta \geq 5^\circ$ необхідно значення коефіцієнтів тепловіддачі, розрахованих по (4.11), помножити на $\sin(\beta)^{1/3}$.

Випар рідини на внутрішній поверхні обертового циліндра відбувається в товстих плівках. Дослідження подібного процесу у відомих нам роботах відсутні. Зважаючи на те, що циліндрична частина в ступені дистилятора (рис. 4.1) становить менш 2% від сумарної поверхні теплообміну, випаром рідини на цій ділянці можна зневажити.

4.6 Висновки за розділом 4

В розділі 4 було розглянуто гідродинаміку плівки рідини на обертовій поверхні, геометрію теплообмінної поверхні, тепловіддачу при конденсації пари на обертовій поверхні, тепловіддачу при конденсації пари на плівці рідини, тепловіддачу при паротворенні в плівці рідини на обертовій поверхні.

5 БАЛАНС СОЛЕВМІСТУ Й РОЗПОДІЛ КОНЦЕНТРАЦІЇ СОЛЕЙ В ОБРОБЛЮВАНІЙ РІДИНІ ПО СТУПНЯМ

Характерною рисою багатоступінчастого дистилятора є те, що після виходу установки на штатний режим роботи у всіх ступенях, крім першого, концентрація рідини, що випарюється, буде зберігатися практично незмінною. У першому ступені концентрація змінюється від початкової до деякої граничної (кінець циклу). По досягненні граничної концентрації невикпарений залишок з контуру витісняється вихідною рідиною, після чого цикл випарювання повторюється.

5.1 Баланс солевмісту й концентрація розчину в ступенях

На рис. 5.1 представлена схема руху потоків солі в триступінчастому дистиляторі.

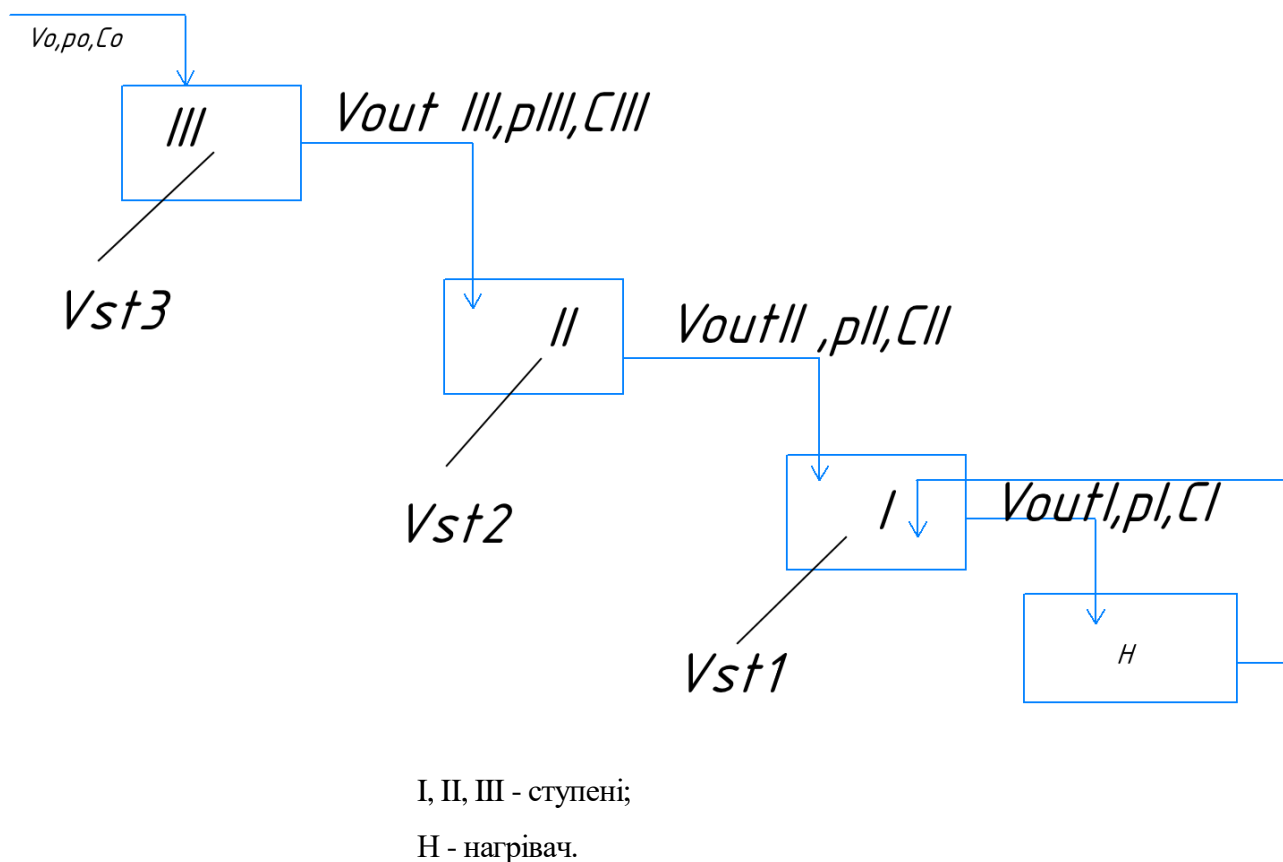


Рисунок 5.1 - Схема руху потоків солі в триступінчастому дистиляторі

Об'єми рідини у ступенях $V_I=0,5\text{л}$; $V_{II}=0,07\text{л}$; $V_{III}=0,07\text{л}$. $C_0=5\%$ NaCl; $C_I=(5\ldots 20)\%$ NaCl

Сольовий баланс 3-го ступеня

$$V_{stIII} \rho_{III} C_{III} = V_{stIII} \rho_0 C_0 + V_{uo} \rho_0 C_0 + V_{outIII} \rho_{III} C_{III}, \quad (5.1)$$

звідки солевміст у третьому ступені :

$$C_{III} = \frac{(V_{stIII} + V_{uo})\rho_0 C_0}{(V_{stIII} + V_{outIII})\rho_{III}} \quad (5.2)$$

де V_{uo} - об'єм вихідної рідини, що надійшов в III ступінь, м³;

V_{stIII} - об'єм рідини, що перебуває в III ступені, м³;

V_{outIII} - об'єм рідини, що вийшла з III ступеня, м³;

ρ_0 - початкова густина вихідної рідини, кг/м³;

C_0 - початковий солевміст рідини;

ρ_{III} - густина рідини після випарювання її в третьому ступені, кг/м³;

C_{III} - солевміст рідини в третьому ступені.

Аналогічно для II й I ступенів

$$C_{II} = \frac{V_{stII}\rho_0 C_0 + V_{outIII}\rho_{III} C_{III}}{(V_{stII} + V_{outII})\rho_{II}} \quad (5.3)$$

$$C_I = \frac{(V_{stI} + V_{hc})\rho_0 C_0 + V_{outII}\rho_{II} C_{II}}{(V_{stI} + V_{hc})\rho_I} \quad (5.4)$$

У орієнтовних розрахунках для всіх ступенів, крім першої, можна прийняти

$$V_{sti} = 0,$$

$$\rho_i = \rho_{uo}.$$

Тоді

$$V_{outIII} = V_{uo} - \frac{1}{3}V_{uo} = \frac{2}{3}V_{uo} \quad (5.5)$$

$$V_{outIII} = \frac{2}{3} \cdot 0,5 = 0,33 \text{ м}^3$$

$$V_{outII} = V_{outIII} - \frac{1}{3}V_{uo} \quad (5.6)$$

$$V_{outII} = \frac{1}{3}V_{uo} = 0,17 \text{ м}^3$$

Система рівнянь для розрахунку концентрацій у триступінчастому апарату буде мати вигляд

$$C_{III} = \frac{V_{uo} C_{uo}}{V_{outIII}} = \frac{3C_{uo}}{2} = \frac{3 \cdot 0,05}{2} = 0,075 \quad (5.7)$$

$$C_{III} = \frac{3 \cdot 0,05}{2} = 0,075$$

$$C_{II} \cong 3C_{uo} \quad (5.8)$$

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_{II} = 3 \cdot 0,05 = 0,15$$

$$C_I = \frac{C_{uo} \rho_{uo}}{\rho_I} + \frac{C_{uo} V_{uo} \rho_{uo}}{(V_{outI} + V_{HC}) \rho_I} \quad (5.9)$$

$$C_I = \frac{0,05 \cdot 0,5 \cdot 1034}{0,5 \cdot 1027} = 0,04$$

Значення концентрацій, розрахованих по залежностях (5.7-5.9), і відповідних їм значень температурної депресії при $C_{uo} = 5 \%$ і коефіцієнті витягу $REC = 90 \%$ (об'ємн.) у діапазоні тисків, характерних для триступінчастого дистилятора, наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Значення концентрації солі в рідині і температурної депресії в кожному ступені триступінчастого дистилятора

Номер ступеня	Концентрація %	Температурна депресія °C
III	$5 < C_{III} < 7.5$	$0.22 < \Delta T_{depIII} < 0.35$
II	$5 < C_{II} < 15$	$0.22 < \Delta T_{depII} < 0.81$
I	$42.2 < C_I < 50.4$	$3.87 < \Delta T_{depI} < 5.34$

5.2 Висновки за розділом 5

В розділі 5 було наведено схему руху потоків солі в триступінчастому дистиляторі, розраховано концентрації розчину для кожної ступені, а також встановлено, що після виходу установки на штатний режим роботи у всіх ступенях, крім першого, концентрація рідини, що випарюється, буде зберігатися практично незмінною.

6 МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ БАГАТОСТУПІНЧАСТОГО ДИСТИЛЯТОРА

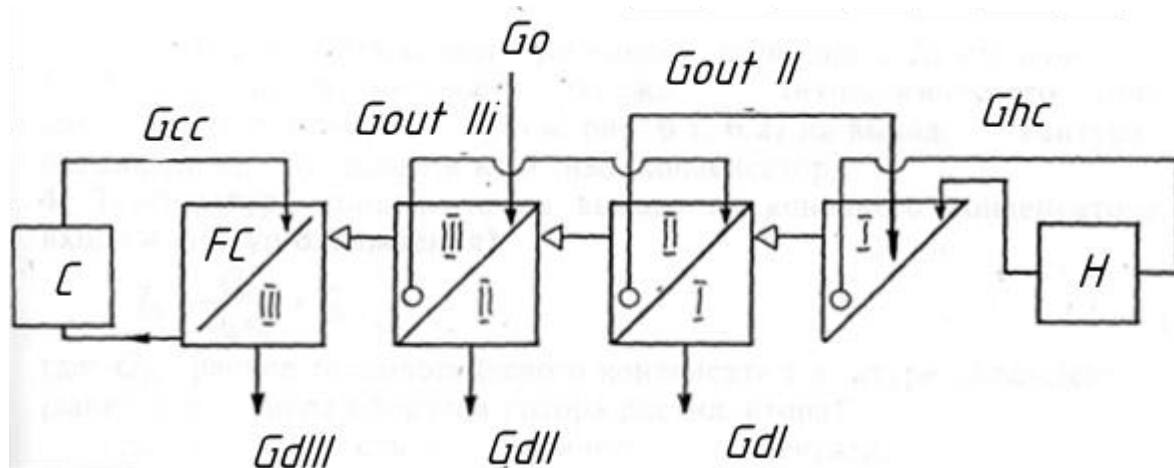
6.1 Розрахункова схема

На рис. 6.1 представлена розрахункова схема триступінчастого дистилятора, на прикладі якого представлено методику розрахунку.

На схемі показані ступені дистилятора I, II й III, кінцевий конденсатор FC, зовнішній нагрівач Н, і охолоджувач С; показані напрямки потоків пари й конденсату в ступенях, охолоджуючої рідини (конденсату) в контурі охолодження й рідини, що випарюється (урини), у контурі нагрівання. Як нагрівач може бути використані електричний нагрівач або термоелектрична батарея.

Для розрахунку параметрів дистилятора необхідно знати:

- конструктивні характеристики дистилятора (число й геометричні параметри ступенів і теплообмінних поверхонь);
- теплопровідність матеріалу теплообмінних поверхонь;
- залежність продуктивності черпакових насосів від швидкості обертання ротора дистилятора;
- параметри вихідної рідини.



I, II, III - ступені;

Н - нагрівач;

С - охолоджувач;

Рисунок 6.1. Розрахункова схема триступінчастого дистилятора.

6.2 Послідовність теплового розрахунку

1 Задається швидкість обертання ротора дистилятора $n_1 = 1200 \text{ об/хв.}$ і величина теплового потоку Q_1 , Вт, що підводиться в перший ступінь дистилятора.

У випадку використання термобатареї

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_I = N_{tb} \cdot \varphi_{tb} \quad (6.1)$$

$$Q_I = 331,25 \cdot 3,2 = 1060 \text{ Вт}$$

де N_{tb} - електрична потужність термобатарей, Вт;

$\varphi_{tb} = 3,2$ теплова ефективність батареї, що залежить від різниці температур на гарячих і холодних спаях термобатарей.

2 Тепловий потік, Вт, переданий у кожен наступний ступінь дистилятора:

$$Q_n = 0,98^{(n-1)} \cdot Q_I, \quad (6.2)$$

де коефіцієнтом 0,98 ураховуються теплові втрати в кожному ступені дистилятора.

Для третього ступеня

$$Q_{III} = 0,96 \cdot Q_I = 0,96 \cdot 1060 = 1017,6 \text{ Вт}$$

Розрахунок тепловіддачі при конденсації пари в III ступені.

3 Виходячи з можливості охолодження технологічного конденсату задається його температура $T_6 = 37^\circ\text{C}$ (див. рис. 6.5) на виході з контуру охолодження, (на вході в кінцевий конденсатор).

4 Температура конденсату, $^\circ\text{C}$ на виході з кінцевого конденсатора, (на вході в контур охолодження)

$$T_4 = \frac{Q_{III}}{G_{cc} c_{cc}} + T_6 \quad (6.3)$$

$$T_4 = \frac{1017,6}{0,022 \cdot 4,187 \cdot 10^3} + 37 = 48^\circ\text{C}$$

де G_{cc} – витрата технологічного конденсату в контурі охолодження (залежить від швидкості обертання ротора дистилятора), кг/с;

$c_{cc} = 4,187$ – теплоємність технологічного конденсату, кДж/(кг· $^\circ\text{C}$).

Теплофізичні параметри технологічного конденсату в контурі охолодження визначаються за середньою температурою, $^\circ\text{C}$, що визначається за формулою

$$\bar{T}_{cc} = \frac{T_4 + T_6}{2} \quad (6.4)$$

$$\bar{T}_{cc} = \frac{48 + 37}{2} = 42,5^\circ\text{C}$$

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6 Середня товщина плівки рідини, м на теплообмінній поверхні кінцевого конденсатора

$$\bar{\delta}_{cc} = 0,65 R_{out} \left(\frac{G_{cc} v_{cc}}{\rho_{cc} \varpi^2 R_{out}^5} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (6.5)$$

$$\bar{\delta}_{cc} = 0,65 \cdot 0,1 \cdot \left(\frac{0,022 \cdot 0,633 \cdot 10^{-6}}{1000 \cdot 125,6^2 \cdot 0,1^5} \right)^{\frac{1}{3}} = 28,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

7 Середня швидкість плинину плівки, м/с, розраховується за формулою

$$w_{nl} = \frac{G_{cc}}{2\pi \bar{\delta}_{cc} \rho_{cc}} \quad (6.6)$$

$$w_{nl} = \frac{0,022}{2\pi \cdot 38,9 \cdot 10^{-6} \cdot 1000} = 9,03 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

8 Числа подібності

$$Re_{cc} = \frac{G_{cc}}{2\pi R_{cc} v_{cc} \rho_{cc}}$$

$$Pr_{cc} = 4,12;$$

$$Re_{cc} = \frac{0,022}{2\pi \cdot 0,1 \cdot 0,633 \cdot 10^{-6} \cdot 991,17} = 55,83;$$

$$Nu_{cc} = 0,108 \cdot Re_{cc}^{0,52} \cdot Pr_{cc}^{0,45} \quad (6.7)$$

$$Nu_{cc} = 0,108 \cdot 55,83^{0,52} \cdot 4,12^{0,45} = 1,65.$$

9 Середній коефіцієнт тепловіддачі, Вт/м²·К, в кінцевому конденсаторі

$$\bar{\alpha}_{fc} = \frac{Nu_{cc} \lambda_{cc}}{\left(\frac{v_{cc}}{125,6} \right)^{0,5}} = 121700 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \quad (6.8)$$

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10 Середньологарифмічний температурний напір, $^{\circ}\text{C}$, у кінцевому конденсаторі

$$\Delta \bar{T}_{fc} = \frac{Q_{III}}{\alpha_{fc} F_{fc}}$$

(6.9)

$$\Delta \bar{T}_{fc} = \frac{1017,6}{12170 \cdot 0.0314} = 2,66^{\circ}\text{C}$$

де: F_{fc} - теплообмінна поверхня кінцевого конденсатора.

11 Температура насичення в конденсаторі (у третій ступені) дистилятора T_{sIII} , $^{\circ}\text{C}$, визначається із залежності

$$\Delta \bar{T}_{fc} = \frac{T_4 - T_6}{\ln \frac{T_{sIII} - T_6}{T_{sIII} - T_4}}. \quad (6.10)$$

12 По $T_{sIII}=48,18^{\circ}\text{C}$ визначаються параметри $\rho_{III}=991,2 \text{ кг/м}^3$ і $r_{III}=2387,4 \text{ кДж/кг}$.

13 Продуктивність третьої ступені, кг/с , по дистиляту

$$G_{dIII} = \frac{Q_{III}}{r_{III}} \quad (6.11)$$

$$G_{dIII} = \frac{1017,6}{2387,4} = 0,43 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

14 Масова витрата вихідної рідини, кг/с , визначається з формули

$$G_0 = 3 \cdot G_{dIII} = 1,29 \text{ кг/с}. \quad (6.12)$$

Далі розрахунок виконується покроковим методом, тобто розраховується послідовна зміна параметрів дистилятора через визначені відрізки часу τ . Чим менше відрізок часу, тим вища точність картини зміни параметрів. Для практичних розрахунків можна рекомендувати $\tau_i = 3-5 \text{ хв}$ (i – порядковий номер кроку розрахунку).

17 Приймається $i = 1$.

18 Об'єм дистиляту, м^3 , що утворився в третій ступені, і, відповідно, об'єм вихідної рідини, м^3 , що надійшла в дистилятор на i -кроці

$$V_{dIII(i)} = \frac{G_{dIII} \tau}{\rho_{III}} \quad (6.13)$$

$$V_{dIII(1)} = \frac{0,43 \cdot 300}{991,2} = 0,13 \text{ м}^3,$$

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_{u_0} = \frac{G_0 \tau}{\rho_0} \quad (6.14)$$

$$V_{u_0} = \frac{1,29 \cdot 300}{991,2} = 0,39 \text{ м}^3$$

17 Об'єм рідини, м³, що перейшов із третьої ступені в другу

$$V_{outIII(i)} = V_{u_0} - \frac{G_{dIII} \tau}{\rho_{III}} = 0,39 - 0,13 = 0,26 \text{ м}^3 \quad (6.15)$$

$$V_{outIII(1)} = 0,39 - 0,13 = 0,26 \text{ м}^3$$

18 Солевміст у ступенях при покроковому методі розрахунку

$$C_{III} = \frac{V_{uo} C_{uo}}{V_{outIII}} = \frac{3 C_{uo}}{2} \quad (5.7)$$

$$C_{III} = \frac{3 \cdot 0,05}{2} = 0,075$$

$$C_{II} \cong 3 C_{uo} \quad (5.8)$$

$$C_{II} \cong 3 \cdot 0,05 = 0,15;$$

$$C_I = \frac{C_{uo} \rho_{uo}}{\rho_I} + \frac{C_{uo} V_{uo} \rho_{uo}}{(V_{outI} + V_{HC}) \rho_I} \quad (5.9)$$

$$C_I = \frac{0,05 \cdot 0,5 \cdot 1034}{0,5 \cdot 1027} = 0,04$$

20 Температурна депресія ,°С, в третій ступені

$$\Delta T_{depIII(1)} = 0,35 \text{ за таблицею 5.1}$$

21 Середня температура рідини, °С, в третій ступені

$$T_{uIII(1)} = T_{sIII} + \Delta T_{depIII(1)} \quad (6.16)$$

$$T_{uIII(i)} = 48,18 + 0,35 = 48,53^\circ \text{C}$$

22 Тепловий потік, Вт, через теплообмінну стінку, що розділяє другу і третю ступені

$$Q_{II} = 0,98 \cdot Q_I \quad (6.17)$$

$$Q_{II} = 0,98 \cdot 1060 = 980 \text{ Вт.}$$

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок тепловіддачі при пароутворенні в III ступені

23 Критичне значення радіуса, м, на дисковій частині теплообмінної поверхні визначається за формулою

$$Re_{kr} = \frac{G_0 - \frac{Q_{II}}{F_{II}} \pi \frac{R_{kr}^2}{r_{III}}}{2\pi R_{kr} v_{III} \rho_{III}}, \quad (6.18)$$

де R_{kr} – критичне значення радіуса на дисковій частині теплообмінної поверхні, м;

Звідси $R_{kr} = 0,08777$ м

Тут і далі в розрахунках теплообміну в третій ступені значення теплофізичних параметрів рідини визначаються по T_{sIII} .

24 Середнє значення ламінарної складової для диска $\bar{\alpha}_{disk\ l}$, Вт/м²·К, визначається за наступною формулою при $R_{in}=50$ мм

$$\bar{\alpha} = \bar{\alpha}_l \frac{R_{in}^2 - R_{out}^2}{R_{out}^2} + \bar{\alpha}_t \frac{R_{kr}^2}{R_{kr}^2} \quad (6.19)$$

$$\bar{\alpha}_l = \frac{R_{in}^2 - R_{out}^2}{R_{out}^2} \quad (6.20)$$

$$\bar{\alpha}_l = \frac{12870 - 16356 \cdot \frac{0,08777^2}{0,1^2}}{\frac{0,05^2 - 0,1^2}{0,1^2}} = 5733 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

25 Якщо $R_{out\ disk} > R_{kr}$, то розраховується середнє значення турбулентної складової тепловіддачі для диска $\bar{\alpha}_{disk\ t}$, Вт/м²·К, по формулі

$$\alpha_t = \frac{\eta_\delta^{1/3}}{\left(\frac{v_f^2}{\omega^2 R}\right)^{1/3} \cdot \left(\ln \frac{\sqrt{\eta_\delta} + \sqrt{\eta_\delta - 11.6}}{\sqrt{\eta_\delta} - \sqrt{\eta_\delta - 11.6}} + 4.65 \text{Pr}_f\right)} \quad (6.21)$$

$$\alpha_t = \frac{64,07 \cdot 0.4 \cdot 3,61 \cdot 9,75^{1/3}}{\left(\frac{(0,575 \cdot 10^{-6})^2}{125,6^2 \cdot 0,1}\right)^{1/3} \cdot \ln \frac{\sqrt{9,75} + \sqrt{9,75 - 11.6}}{\sqrt{9,75} - \sqrt{9,75 - 11.6}} + 4.65 \cdot 3,65} = 16356 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

26 Середній коефіцієнт тепловіддачі, Вт/м²·К, для всієї поверхні диска

$$\bar{\alpha}_{edisk_{III}} = \bar{\alpha}_{diskl} \frac{R_{out}^2 - R_{kr}^2}{R_{out}^2} + \bar{\alpha}_{diskr} \frac{R_{kr}^2}{R_{out}^2}. \quad (6.22)$$

$$\bar{\alpha}_{edisk_{III}} = 5733 \cdot \frac{0,1^2 - 0,08777^2}{0,1^2} + 16356 \cdot \frac{0,08777^2}{0,1^2} = 13916 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

27 Розрахунок тепловіддачі на конусній частині, Вт/м²·К, теплообмінної поверхні проводиться аналогічно, але з використанням відповідних значень $R_{con in}=0,08$ м і $R_{con out}=0,1$ м.

$$\bar{\alpha}_l = \frac{12870 + 16356 \cdot \frac{0,08777^2}{0,1^2}}{\frac{0,08^2 - 0,1^2}{0,1^2}} = 1194 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (6.23)$$

$$\bar{\alpha}_{edisk_{III con}} = 1194 \cdot \frac{0,1^2 - 0,08777^2}{0,1^2} + 16356 \cdot \frac{0,08777^2}{0,1^2} = 12874 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Розрахунок тепловіддачі при конденсації пари в II ступені

28 Задаються значення $T_{sII}=49^\circ\text{C}$ і $T_{w con II}=49,5^\circ\text{C}$ - відповідно температура насичення в другій ступені і температура стінки, на якій конденсується пара.

35 По температурі $T_{s II}$ визначаються значення $\rho_{II(1)}=988,51$ кг/м³ і

$$r_{II(1)}=2385 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}.$$

36 Продуктивність другої ступені, кг/с, по дистилляту

$$G_{dl(i)} = \frac{Q_{II}}{r_{II(i)}} \quad (6.24)$$

$$G_{dl(1)} = \frac{980}{2385} = 0,41 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

37 Об'єм дистилляту, м³, отриманого в другій ступені за термін τ

$$V_{dl(i)} = \frac{G_{dl(i)} \tau}{\rho_{II(i)}} \quad (6.25)$$

$$V_{dl(1)} = \frac{0,41 \cdot 300}{988,51} = 0,12 \text{ м}^3$$

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

38 Об'єм рідини, м³, що перетікає з другої ступені в першу

$$V_{outII(i)} = V_{outIII(i)} - \frac{G_{all} \tau}{\rho_{II}} \quad (6.26)$$

$$V_{outII(1)} = 0,26 - \frac{0,41 \cdot 300}{988,52} = 0,38 \text{ м}^3$$

39 Солевміст у другій ступені на першому кроці розрахунку $C_{II(i)}$ визначається по формулі (5.8).

$$C_{II} \cong 3C_{uo} = 3 \cdot 0,05 = 0,15;$$

43 Температурна депресія, °С, в другій ступені $\Delta T_{depII(I)}$ береться за таблицею 5.1
 $\Delta T_{depII(I)} = 0,81^\circ\text{C}$.

44 Середня температура рідини, °С, в другій ступені

$$T_{uII(i)} = T_{sII} + \Delta T_{depII(I)} \quad (6.27)$$

$$T_{uII(I)} = 49 + 0,81 = 49,81^\circ\text{C}.$$

45 Розрахунок тепловіддачі при паротворенні в другій ступені, при конденсації в першій ступені, а також температурного перепаду між першою і другою ступінню і температури насичення в першій ступені виконується аналогічно по пп. 23...44.

Розрахунок тепловіддачі при пароутворенні в II ступені

46 Критичне значення радіуса на дисковій частині теплообмінної поверхні визначається за формулою

$$Re_{kr} = \frac{G_0 - \frac{Q_I}{F_I} \pi \frac{R_{kr}^2}{r_{II}}}{2\pi R_{kr} \nu_{II} \rho_{II}}, \quad (6.28)$$

де R_{kr} – критичне значення числа Рейнольдса, приймаю 50 .

Звідси $R_{kr} = 0,0913 \text{ м}$.

Тут і далі в розрахунках теплообміну в третій ступені значення теплофізичних параметрів рідини визначаються по T_{sII} .

47 Середнє значення ламінарної складової для диска $\bar{\alpha}_{disk \text{ I}}$, Вт/м²·К , визначається за наступною формулою при $R_{in}=50 \text{ мм}$

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\bar{\alpha} = \bar{\alpha}_l \frac{R_{in}^2 - R_{out}^2}{R_{out}^2} + \bar{\alpha}_t \frac{R_{kr}^2}{R_{out}^2}. \quad (6.29)$$

$$\bar{\alpha}_l = \frac{\bar{\alpha} - \bar{\alpha}_t \frac{R_{kr}^2}{R_{out}^2}}{\frac{R_{in}^2 - R_{out}^2}{R_{out}^2}} \quad (6.30)$$

$$\bar{\alpha}_l = \frac{12870 - 21636 \frac{0,0913^2}{0,1^2}}{\frac{0,05^2 - 0,1^2}{0,1^2}} = 7820 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

48 Якщо $R_{out\ disk} > R_{kr}$, то розраховується середнє значення турбулентної складової тепловіддачі для диска $\bar{\alpha}_{disk\ t}$, Вт/м²·К, по формулах

$$\alpha_t = \frac{0,4 \cdot \text{Pr}_f^{1/3}}{\left(\frac{\nu_f^2}{\omega^2 R} \right)^{1/3} \cdot \left(\ln \frac{\sqrt{\eta_\delta} + \sqrt{\eta_\delta - 11,6}}{\sqrt{\eta_\delta} - \sqrt{\eta_\delta - 11,6}} + 4,65 \text{Pr}_f \right)} \quad (6.31)$$

$$\alpha_t = \frac{64,67 \cdot 0,4 \cdot 3,62 \cdot 10,9^{1/3}}{\left(\frac{(0,566 \cdot 10^{-6})^2}{125,6^2 \cdot 0,1} \right)^{1/3} \cdot \ln \frac{\sqrt{10,9} + \sqrt{10,9 - 11,6}}{\sqrt{10,9} - \sqrt{10,9 - 11,6}} + 4,65 \cdot 3,62} = 21636 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

49 Середній коефіцієнт тепловіддачі для всієї поверхні диска

$$\bar{\alpha}_{edisk_{III}} = \bar{\alpha}_{diskl} \frac{R_{out}^2 - R_{kr}^2}{R_{out}^2} + \bar{\alpha}_{diskt} \frac{R_{kr}^2}{R_{out}^2}. \quad (6.32)$$

$$\bar{\alpha}_{edisk_{III}} = 7820 \cdot \frac{0,1^2 - 0,0913^2}{0,1^2} + 21636 \cdot \frac{0,0913^2}{0,1^2} = 19336 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

50 Розрахунок тепловіддачі на конусній частині, Вт/м²·К, теплообмінної поверхні проводиться аналогічно, але з використанням відповідних значень $R_{con\ in} = 0,08\ \text{м}$ і $R_{con\ out} = 0,1\ \text{м}$

$$\bar{\alpha}_{lcon} = \frac{\bar{\alpha} - \bar{\alpha}_t \frac{R_{kr}^2}{R_{con.out}^2}}{\frac{R_{in}^2 - R_{con.out}^2}{R_{con.out}^2}} \quad (6.33)$$

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\bar{\alpha}_{lcon} = \frac{12870 - 21636 \cdot \frac{0,0913^2}{0,1^2}}{\frac{0,08^2 - 0,1^2}{0,1^2}} = 14347 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$\bar{\alpha}_{edisk_{III}con} = 14347 \cdot \frac{0,1^2 - 0,0913^2}{0,1^2} + 21636 \cdot \frac{0,0913^2}{0,1^2} = 18154 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Отримане значення середнього коефіцієнта тепловіддачі варто помножити на $(\sin \beta)^{0,33}$, де β - кут нахилу утворюючої конуса до осі его обертання.

Розрахунок тепловіддачі при конденсації пари в I ступені

51 Задаються значення $T_{sII}=49,5^\circ\text{C}$ і $T_{w\text{ con II}}=49,75^\circ\text{C}$ – відповідно температура насичення в другій ступені і температура стінки, на якій конденсується пара.

52 По температурі T_{sII} визначаються значення $\rho_{II(i)}=988,3 \text{ кг/м}^3$ і $r_{II(i)}=2383,75 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$.

53 Продуктивність другої ступені, кг/с, по дистилляту

$$G_{dl(i)} = \frac{Q_I}{r_{I(i)}} \quad (6.34)$$

$$G_{dl(i)} = \frac{1060}{2383,75} = 0,44 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

54 Об'єм дистилляту, м^3 , отриманого в другій ступені за термін τ

$$V_{dl(i)} = \frac{G_{dl(i)} \tau}{\rho_{I(i)}} \quad (6.35)$$

$$V_{dl(i)} = \frac{0,44 \cdot 300}{988,3} = 0,13 \text{ м}^3$$

55 Об'єм рідини, м^3 , що перетікає з другої ступені в першу

$$V_{outI(i)} = V_{outII(i)} - \frac{G_{dl} \tau}{\rho_I} \quad (6.36)$$

$$V_{outI(i)} = 0,26 - \frac{0,44 \cdot 300}{988,3} = 0,13 \text{ м}^3$$

56 Солевміст у першій ступені по формулі

$$C_I = \frac{C_{uo} \rho_{uo}}{\rho_I} + \frac{C_{uo} V_{uo} \rho_{uo}}{(V_{outI} + V_{HC}) \rho_I} = \frac{0,05 \cdot 0,5 \cdot 1034}{0,5 \cdot 1027} = 0,04 \quad (5.7)$$

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

57 Температурна депресія , °C, в другій ступені $\Delta T_{depI(I)}$ береться за таблицею 5.1

$$\Delta T_{depII(I)} = 0,2 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

58 Середня температура рідини, °C, в другій ступені

$$T_{ul(i)} = T_{sII} + \Delta T_{depII(I)} \quad (6.37)$$

$$T_{ul(i)} = 49,5 + 0,2 = 49,7^{\circ}\text{C}.$$

59 Температура рідини, °C, на виході з першої ступені дистилятора (на вході в контур нагрівання)

$$T_2 = T_{ul} = 49,7^{\circ}\text{C} \quad (6.38)$$

61 Загальний обсяг дистиляту, м³, отриманого в трьох ступенях на першому кроці

$$V_{d(i)} = V_{dIII(i)} + V_{dII(i)} + V_{dI(i)}$$

$$V_{dI(i)} = 0,13 + 0,12 + 0,13 = 0,38 \text{ м}^3 \quad (6.39)$$

62 Продуктивність дистилятора, кг/с, на першому кроці

$$G_{d(i)} = G_{dIII(i)} + G_{dII(i)} + G_{dI(i)} \quad (6.40)$$

$$G_{d(i)} = 0,43 + 0,41 + 0,44 = 1,28 \text{ кг/с}$$

63 Питома витрата енергії на першому кроці

$$\phi_{dr} = \frac{N_{dr} + N_h}{V_{d(i)}} \quad (6.41)$$

$$\phi_{dr} = \frac{600 + 235}{380} = 2,1 \frac{\text{Вт} \cdot \text{год}}{\text{л}}$$

6.3 Висновки до розділу 6

В даному розділі було зображено розрахункову схему триступінчатого дистилятора, а також було виконано тепловий розрахунок і розраховано теплові потоки в кожній ступені триступінчатого відцентрового дистилятора, розраховано середні коефіцієнти тепловіддачі на циліндричній і конічній частинах теплообмінної поверхні кожної ступені при пароутворенні та конденсації пари.

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7 ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАЗИТНИХ ПЕРЕТОКІВ ТЕПЛОТИ ІЗ ГАРЯЧОГО КОНТУРУ У ХОЛОДНИЙ В ГІДРАВЛІЧНИХ КАНАЛАХ ВУЗЛА ВХОДУ ТА ВИХОДУ ТЕПЛОНОСІЇВ ВІДЦЕНТРОВОГО ДИСТИЛЯТОРА

Геометрична модель вузла представлена на рис. 7.1, схема каналів, що беруть участь у розрахунках зображена на рис. 7.2.

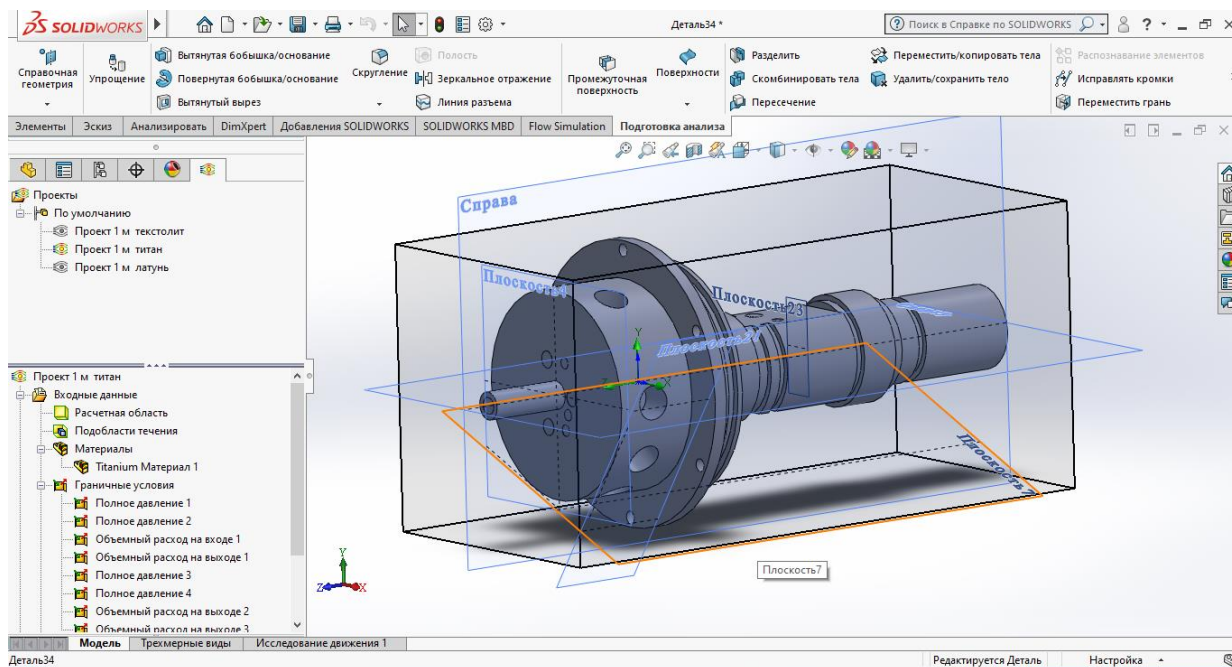


Рис. 7.1 – Геометрична модель вузла вводу.

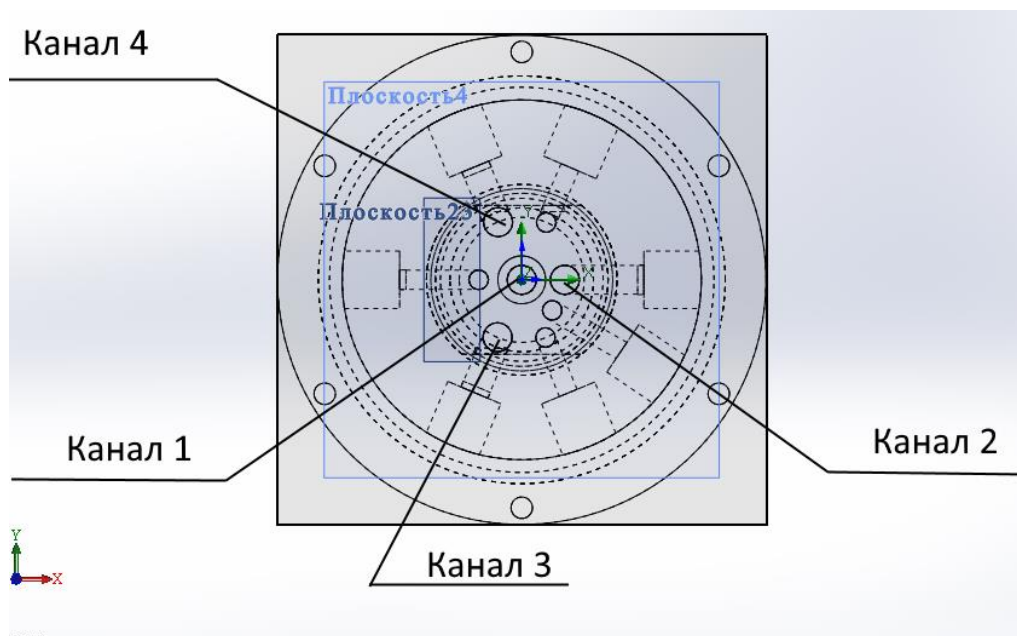


Рис. 7.2 Схема каналів, що розраховуються

7.1 Розрахунок температур на виході с каналів

Розрахунки виконуються для наступних матеріалів: 1) титан; 2) латунь; 3) тефлон; 4) алюміній.

Розрахунки проводились в середовищі Solid Works Flow Simulation 2018 і зведені в таблиці відповідно до матеріалів: 1) таблиця 7.1 – результати розрахунку для матеріалу титан; 2) таблиця 7.2 – результати розрахунку для матеріалу латунь; 3) таблиця 7.3 – результати розрахунку для матеріалу тефлон; 4) таблиця 7.4 – результати розрахунку для матеріалу алюміній.

Таблиця 7.1 – Результати розрахунку для матеріалу титан

Канал №	Температура на вході, К	Температура на виході, К
1	$t_1'=326$	$t_1=325,55$
2	$t_2'=319$	$t_2=319.12$
3	$t_3'=312$	$t_3=312.12$
4	$t_4'=316$	$t_4=316.12$

Таблиця 7.2 – Результати розрахунку для матеріалу латунь

Канал №	Температура на вході, К	Температура на виході, К
1	$t_1'=326$	$t_1=325,30$
2	$t_2'=319$	$t_2=319.15$
3	$t_3'=312$	$t_3=312.41$
4	$t_4'=316$	$t_4=316.21$

Таблиця 7.3 – Результати розрахунку для матеріалу тефлон

Канал №	Температура на вході, К	Температура на виході, К
1	$t_1'=326$	$325,99$
2	$t_2'=319$	$t_2=319.0$
3	$t_3'=312$	$t_3=312.0$
4	$t_4'=316$	$t_4=316.0$

Таблиця 7.4 – Результати розрахунку для матеріалу алюміній

Канал №	Температура на вході, К	Температура на виході, К
1	$t_1'=326$	$t_1=325,19$
2	$t_2'=319$	$t_2=319,12$
3	$t_3'=312$	$t_3=312,51$
4	$t_4'=316$	$t_4=316,25$

7.2 Розрахунок теплових втрат в каналах вузла вводу

Теплові втрати, Вт, в каналах розраховуються за формулою

$$Q = G_{cc} \cdot c_{cc} \cdot \Delta T \text{ кВт} \quad (7.1)$$

Розрахунок теплових втрат для матеріалу титан

$$Q_1 = 0,0278 \cdot 4,19 \cdot (52,55 - 53) = -0,048 \text{ кВт}$$

$$Q_2 = 0,0278 \cdot 4,19 \cdot (46,12 - 46) = 0,014 \text{ кВт}$$

$$Q_3 = 0,0278 \cdot 4,19 \cdot (39,12 - 39) = 0,014 \text{ кВт}$$

$$Q_4 = 0,0278 \cdot 4,19 \cdot (43,12 - 43) = 0,014 \text{ кВт}$$

Розрахунок теплових втрат для матеріалу латунь

$$Q_1 = 0,0278 \cdot 4,19 \cdot (52,30 - 53) = -0,089 \text{ кВт}$$

$$Q_2 = 0,0278 \cdot 4,19 \cdot (46,15 - 46) = 0,017 \text{ кВт}$$

$$Q_3 = 0,0278 \cdot 4,19 \cdot (39,41 - 39) = 0,048 \text{ кВт}$$

$$Q_4 = 0,0278 \cdot 4,19 \cdot (43,21 - 43) = 0,024 \text{ кВт}$$

Розрахунок теплових втрат для матеріалу тефлон

$$Q_1 = 0,0278 \cdot 4,19 \cdot (52,99 - 53) = -0,012 \text{ кВт}$$

$$Q_2 = 0,0278 \cdot 4,19 \cdot (46 - 46) = 0 \text{ кВт}$$

$$Q_3 = 0,0278 \cdot 4,19 \cdot (38,99 - 39) = 0,012 \text{ кВт}$$

$$Q_4 = 0,0278 \cdot 4,19 \cdot (43 - 43) = 0 \text{ кВт}$$

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Розрахунок теплових втрат для матеріалу алюміній

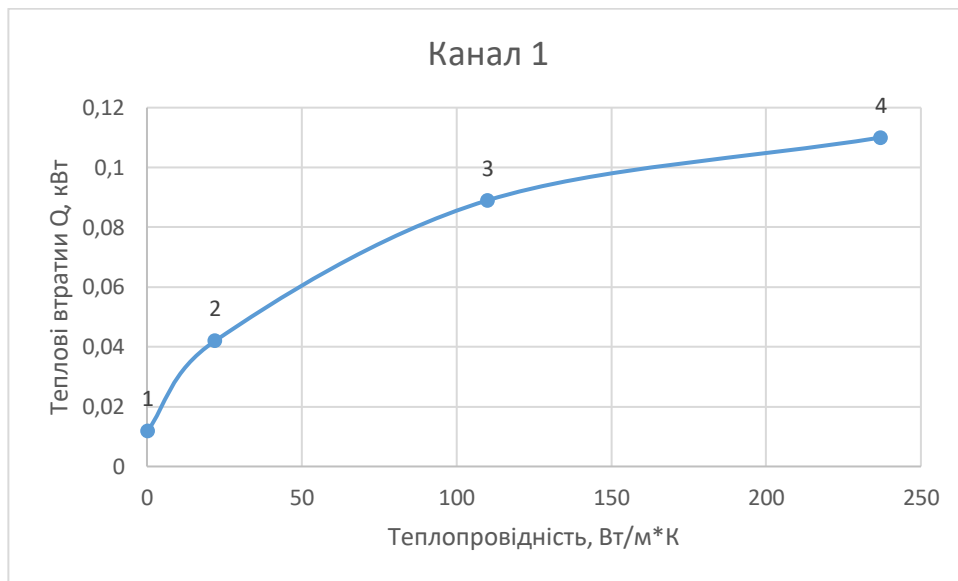
$$Q_1 = 0,0278 \cdot 4,19 \cdot (52,19 - 53) = -0,11 \text{ кВт}$$

$$Q_2 = 0,0278 \cdot 4,19 \cdot (46,15 - 46) = 0,02 \text{ кВт}$$

$$Q_3 = 0,0278 \cdot 4,19 \cdot (39,51 - 39) = 0,06 \text{ кВт}$$

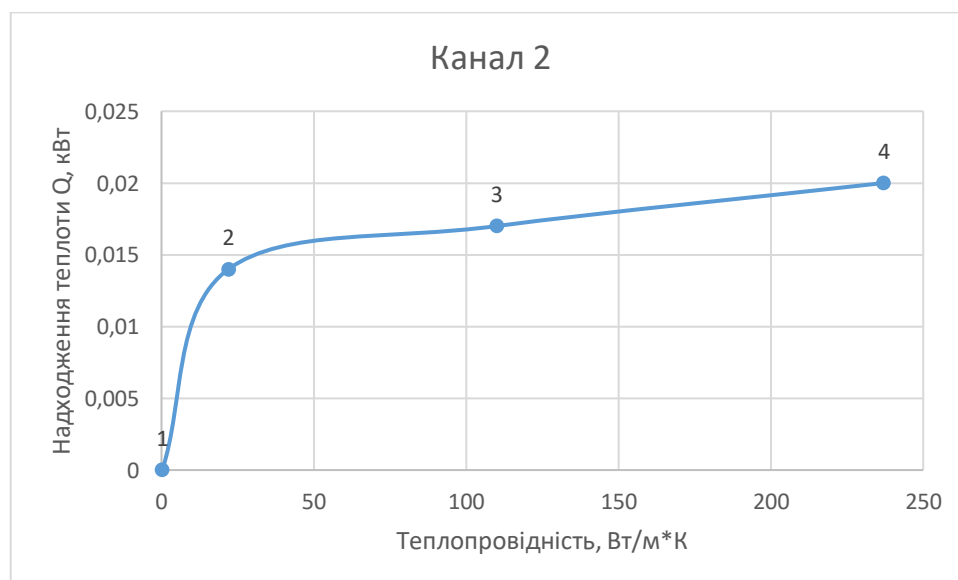
$$Q_4 = 0,0278 \cdot 4,19 \cdot (43,25 - 43) = 0,03 \text{ кВт}$$

Залежність теплових втрат від теплопровідності матеріалу для кожного каналу зображено на рисунках 7.3, 7.4, 7.5, 7.6.



1 – матеріал тефлон; 2 – матеріал титан; 3 – матеріал латунь; 4 – матеріал алюміній

Рис. 7.3 – Графік залежності $Q=f(\lambda)$ для каналу 1



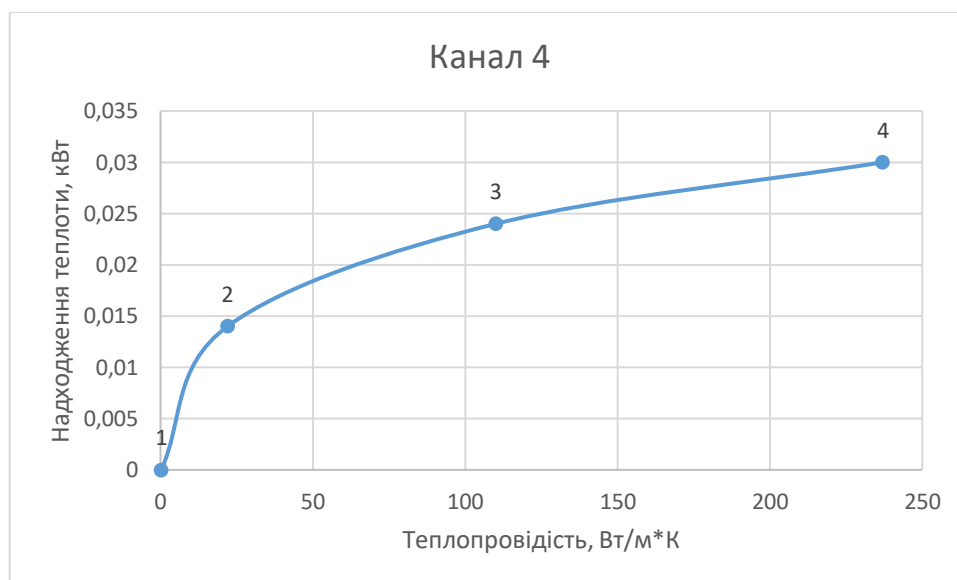
1 – матеріал тефлон; 2 – матеріал титан; 3 – матеріал латунь; 4 – матеріал алюміній

Рис. 7.4 – Графік залежності $Q=f(\lambda)$ для каналу 2



1 – матеріал тефлон; 2 – матеріал титан; 3 – матеріал латунь; 4 – матеріал алюміній

Рис. 7.5 – Графік залежності $Q=f(\lambda)$ для каналу 3



1 – матеріал тефлон; 2 – матеріал титан; 3 – матеріал латунь; 4 – матеріал алюміній

Рис. 7.6 – Графік залежності $Q=f(\lambda)$ для каналу 4

7.3 Висновки до розділу 7

В даному розділі було представлено результати дослідження паразитичних перетоків теплоти із гарячого контуру у холодний в гідравлічних каналах вузла входу та виходу теплоносіїв відцентрового дистильатора отриманих в середовищі Solid Works Flow Simulation для різних матеріалів з яких міг би бути виконаний вузол. Згідно результатів розчин рідини, що проходить через канал 1 охолоджується, спричиняючи нагрівання розчину, що проходить через канали 2, 3 та 4 за рахунок теплопровідності. Було проведено оцінку паразитичних перетоків теплоти та побудовано графіки, що відображають залежність теплових втрат від теплопровідності матеріалів.

8 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

8.1. Обсяг витрат на заробітну плату (розрахунок фонду оплати праці за кількістю працівників, залучених до виконання (загальний)

Необхідний для виконання роботи штат передбачає постійну участь в роботі наступних фахівців з місячним фондом зарплати: 1) с. н. с., д.т.н., 1 ставка з окладом 7843,0 грн.; 2) с. н. с., к.т.н., 3 ставки з окладом 7357 грн.; 3) м. н. с., к.т.н., 0,5 ставки з окладом 3222,5 грн.;

Сумарні витрати на оплату праці при виконанні проекту складуть всього - 1110,0 тис. грн., в т.ч. у 2018 рік – 370 тис. грн., 2019 рік – 370 тис. грн., 2020 рік – 370 тис. грн.

8.2. Обсяг витрат на матеріали, обладнання та інвентар, орієнтовний розрахунок (загальний)

Для забезпечення роботи в рамках проекту необхідно придбання витратних матеріалів (паперу, канцтоварів, комплектуючих до комп'ютеру, холодильних агентів (фреонів), слюсарний інструмент, шланги гумові, гумові кільця, запірна арматура, комплектуючі для пульта керування, магнітної муфти, корозійно стійкі підшипники, картриджі для системи очищення води, пластинчасті теплообмінники паяні (2-3 шт.), титан ВТЗ (круг, лист), дюраль Д16Т (круг), оргскло, насос вакуумний, насос для фреону, комплектуючі для принтерів на суму всього – 299,0 тис. грн., в т.ч. у 2018 рік – 99,7 тис. грн., 2019 рік – 99,7 тис. грн., 2020 рік – 99,7 тис. грн.

8.3. Обсяг витрат на енергоносії, інші комунальні послуги (загальний)

За період виконання проекту сума витрат на енергоносії та комунальні послуги складе всього - загальний 45,0 тис. грн., в т.ч. у 2018 рік – 15,0 тис. грн., 2019 рік – 15,0 тис. грн., 2020 рік – 15,0 тис. грн.. (Підстава: наказ НТУУ «КПІ» від 30.12.2011 р. №4-588)

8.4. Інші витрати (за видами, із обґрунтуванням їх необхідності (загальний)

Витрати на публікування в журналах, які входять в наукометричну базу Scopus, переклад статей на англійську мову, участь у конференціях, ремонт та метрологічна повірка приладів 125,8 тис. грн., в т.ч. у 2018 рік – 41,9 тис. грн., 2019 рік – 41,9 тис. грн., 2020 рік – 41,9 тис. грн..

Непрямі витрати – 111,0 тис. грн., в т.ч. у 2018 рік – 37,0 тис. грн., 2019 рік – 37,0 тис. грн., 2020 рік – 37,0 тис. грн.. (наказ НТУУ «КПІ» від 19.07.13 р. № 4-355).

8.5 Висновки до розділу 8

Зведений кошторис проекту (загальний): 1935,0 тис. грн. , в т.ч. 2018 рік – 645,0 тис. грн., 2019 рік – 645,0 тис. грн., 2020 рік – 645,0 тис. грн.

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Охорона праці – система збереження життя і здоров'я працівників у процесі трудової діяльності, що включає в себе правові, соціально-економічні, організаційно-технічні, санітарно-гігієнічні, лікувально-профілактичні, реабілітаційні та інші заходи. Всі норми трудового права спрямовані на захист інтересів всіх працюючих, на забезпечення умов праці, безпечних для життя й здоров'я робітників.

Метою магістерської дисертації є розробка експериментального стенду для дослідження відцентрового дистилятора з термоелектричним тепловим насосом. В розділі буде розглянуто основні заходи з охорони праці при експлуатації обладнання стенда.

Основними потенційно шкідливими і небезпечними виробничими факторами при експлуатації стенда є: підвищена напруга мережі, замикання якої може відбутися через тіло людини; підвищений рівень шуму і вібрації; недостатнє освітлення.

В даному розділі магістерської дисертації запропоновані технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації експериментального стенда, гігієни праці і виробничої санітарії та вирішені питання пожежної безпеки і профілактики.

9.1 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації експериментального стенда

У ході проведення робіт у приміщенні лабораторії проектом передбачені наступні технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації технологічного обладнання:

1. У дистилятора відсутні відкриті частини, що обертаються.
2. Розміщення обладнання стенда запроектовано з додержанням необхідних проходів між будівельними конструкціями з урахуванням виконання монтажних, ремонтних та експлуатаційних робіт.
3. Монтаж стенда виконується згідно з СНиП 3.05.01-85 [19] і технічних умов на обладнання.
4. Керування дистилятором та іншими складовими стенда відбувається з пульту керування, що розміщено у лабораторії.
5. Кабелі підключення стенда з дистилятором до електричної мережі ізолювані. Вибір ізоляції здійснювався з розрахунку 1 кОм на 1 В напруги. Таким чином, кабелі стенда виконані в ізоляційному корпусі з робочим опором не менше 380 кОм.
6. Опір ланцюга заземлення повинен періодично перевірятися, його значення не повинно перевищувати 0,1 Ом.

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7. Автоматичний вимикач і розетка встановлені на панелі захисту і розташовані на стіні поблизу від стенда.
8. Експлуатація стенда проводиться в приміщенні без підвищеної небезпеки (у приміщенні з допустимим рівнем вологості й без струмопровідного пилу).
9. Всі внутрішні розводки кабелів живлення розташовані за захисними панелями.
10. Всі внутрішні кабелі ізолювані.
11. Нульовий провід прокладено так, щоб виключити можливість обриву; у нульовому проводі забороняється ставити запобіжники, вимикачі й інші прилади, здатні порушити його цілісність. Провідність нульового проводу становить не менше 50 % провідності фазного проводу.

9.1.1 Електробезпека

Робочі приміщення згідно вимогами ПУЕ відносяться до приміщень з підвищеною небезпекою ураження персоналу електричним струмом.

Живлення електроустаткування здійснюється від п'ятипровідної електромережі (50 Гц, 220/380В) з глухо заземленою нейтраллю та зануленням і використанням автоцитів максимального струмового захисту та ПЗВ.

Розрахунок електромережі на вимикаючу здатність при аварійному режимі роботи системи керування та автоматизації.

Розрахуємо струм короткого замикання при аварійному режимі роботи системи керування та автоматизації

$$I_{\kappa\text{з}} = \frac{U_m}{\sqrt{(R_\phi + R_n)^2 + (x_\phi + x_n)^2 + Z_{m/3}}} , \text{А} \quad (9.1)$$

де U_m – напруга, В;

R_ϕ – активна складова опору фази, Ом;

R_n – активна складова опору нульового проводу, Ом;

x_ϕ – індуктивна складова опору фази, Ом;

x_n – індуктивна складова опору нульового проводу, Ом;

$Z_{m/3}$ – еквівалентний опір трансформатору, Ом.

$$I_{\kappa\text{з}} = \frac{380}{\sqrt{(3+3)^2 + (0,7+0,7)^2 + 0,15}} = 60,21 \text{А.}$$

Обчислимо кратність струму короткого замикання до струму номінального спрацювання:

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$k = \frac{I_{кз}}{I_{ном.эф}}, \quad (9.2)$$

$$k = \frac{60,21}{30} = 2,01,$$

$k > 1,4 (I_{кз} < 100 \text{ A})$, що забезпечує

Розрахуємо максимальну напругу при аварійному режимі роботи:

$$U_{к\max} = I_{кз} \cdot R_n, \quad (9.3)$$

$$U_{к\max} = 60,21 \cdot 4 = 240,84 \text{ В.}$$

Ця напруга повинна відповідати умові:

$$U_{к\max} < U_{\text{доп}} = 500 \text{ В}$$

Отже, вимикання мережі при аварійному режимі роботи системи керування та автоматизації відповідає вимогам ПУЕ –2017 щодо безпечної роботи персоналу.

Згідно з ДСТУ ІЕ мережа відноситься до ОІ та І класу з електрозахисту.

Живлення двигуна вентилятора відбувається за допомогою три провідної електричної мережі з ізолюваною нейтраллю. Живлення системи керування та автоматизації відбувається за допомогою чотири провідної електричної мережі з глухозаземленою нейтраллю та зануленням.

9.2 Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці і виробничої санітарії

Згідно ДСН 3.3.6.042-99 під забезпеченням нормативних параметрів мікроклімату в робочій зоні виробничих приміщень розуміють клімат їхнього внутрішнього середовища, що визначається в сумарній дії на організм людини температури, вологості і швидкості руху повітря.

У виробничих приміщеннях клімат повинен відповідати наступним санітарним нормам:

- температура повітря $18 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- відносна вологість повітря – 40-60%;
- швидкість руху повітря – 0,2-0,3 м/с.

Відповідно до інтенсивності виконуваних рухів людиною, що працює фасувальником кондитерських виробів, роботи відносяться до категорії – середньої важкості Па.

Оптимальні та допустимі параметри мікроклімату для цих умов наведені в таблиці 9.1.

Таблиця 9.1 - Параметри мікроклімату відповідно до ДСН 3.36042-99

Період року	Оптимальні			Допустимі		
	$t, ^{\circ}\text{C}$	$W, \%$	$V, \text{м/с}$	$t, ^{\circ}\text{C}$	$W, \%$	$V, \text{м/с}$
Теплий	21-23	40-60	0,3	18-27	65 при 26°C	0,2-0,4
Холодний	19-21	40-60	0,2	17-23	75	не більше 0,3

Отже, температура у виробничих приміщеннях задовольняє допустимі параметри, а вологість і швидкість повітря – оптимальні, тому необхідності у коригуванні мікроклімату немає.

9.2.1 Виробниче освітлення

Оскільки стенд призначений для експлуатації в закритому приміщенні, у проекті розглядається тільки штучне освітлення.

Штучне освітлення приміщень здійснюється системою загального або комбінованого освітлення. Зорові умови праці при штучному освітленні характеризуються найменшим об'єктом розпізнавання, розрядом і під розрядом зорових робіт, контрастом об'єкту розпізнавання з фоном, системою освітлення. Нормативними показниками штучного освітлення є: величина освітленості, показники засліпленості або дискомфорту, коефіцієнт пульсації освітленості. Нормовані значення штучного освітлення наведено в ДБН В2.5-28-2006. Згідно з ДБН В2.5-28-2006 робота в приміщенні відноситься до VI категорії зорових робіт, а отже у будь-якій точці приміщення вентиляційної освітленість має складати не менше 200 лк.

В умовах експлуатації вентиляційної установки повинно бути забезпечене загальне освітлення. Для освітлення необхідно застосовувати газорозрядні лампи з рівномірним розподілом плафонів по стелі приміщення, щоб у будь-якій точці освітленість складала не менше 300 лк. Дана умова виконується.

9.2.2 Захист від виробничих вібрацій

Вібрації – це механічні коливання пружинних тіл або механічні коливальні рухи виробничої системи.

Джерелом вібрації в умовах, які розглядаються в проекті є вентилятор, що відповідає нормам ДСН 3.3.6.039-99.

Для зменшення дії вібрацій на працюючих місцях, проектом передбачено, що монтаж стенда необхідно проводити на «віброгасники» – спеціальні гумові вставки, за допомогою яких гасяться вібрації вентилятора.

9.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

9.3.1 Оповіщення та евакуація

Згідно ст. 27 ПКМ від 15.02. 99 N 192 "Положення про організацію оповіщення і зв'язку у надзвичайних ситуаціях" передбачено:

– встановлення електросирен з можливістю централізованого запуску (місце встановлення: газова котельня);

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

— обладнання всіх виробничих, службових та адміністративних приміщення радіотрансляційними точками (радіоприймачами відповідного діапазону для районів, де немає проводового мовлення) для гарантованого приймання програм державного радіомовлення;

— безперешкодний допуск працівників, які здійснюють експлуатаційно-технічне обслуговування апаратури і технічних засобів оповіщення та зв'язку ЦО, за пред'явленими ними посвідченнями особи на територію та в приміщення своїх підприємств, установ і організацій для проведення ремонту або інших робіт, пов'язаних з технічною експлуатацією та обладнанням систем оповіщення.

Готовність систем оповіщення забезпечено шляхом:

- організованої цілодобової чергової операторів котельні;
- налагодження телефонного зв'язку чергових служб котельні з оперативно-черговою службою пункту управління облдержадміністрації та черговими службами органів Державної служби з надзвичайних ситуацій в місті Києві;
- завчасної підготовки персоналу чергових служб до дій у надзвичайних ситуаціях;
- впровадження автоматизованих систем оповіщення з використанням сучасних технологій;
- якісного експлуатаційно-технічного обслуговування апаратури і технічних засобів оповіщення та системи зв'язку.

9.3.2 Пожежна безпека та профілактика

Пожежна безпека забезпечується: системою запобігання пожежі, системою протипожежного захисту, організаційно-технічними заходами.

У приміщенні може виникнути пожежа у випадку порушення ізоляції електропроводів й устаткування при короткому замиканні, при порушенні правил пожежної безпеки, при порушенні правил експлуатації електроустановок. У приміщенні експлуатації знаходяться наступні пожежонебезпечні матеріали: складові частини вентиляційного устаткування – електро - й теплоізоляція установки. Приміщення відноситься до категорії "В", а робочі зони згідно з ДНАОП 0.00-1.32-0 відносяться до класу П-П-а з пожежонебезпеки.

Існує можливість пожежі при короткому замиканні в системі електроживлення. Для усунення можливості запалення, живлення електричною енергією відбувається через щиток, на якому встановлені автоматичні вимикачі. При підвищенні струму вище допустимого значення (5А), відбувається відключення електронної техніки від загальної мережі електроживлення. Кабелі електропроводки захищені негорючою ізоляцією. Згідно вимог ДБН В.2.5-56-2014 у приміщенні передбачена система автоматичної пожежної сигналізації.

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У повітрі приміщення немає ніяких вибухонебезпечних паро- і газоповітряних сумішей. Для евакуації людей з приміщення використовується один евакуаційний вихід, розроблена схема шляхів евакуації при пожежі, яка розташована на стіні біля дверей виходу.

Приміщення, де розташовані кабельні комунікації, має II ступінь вогнестійкості з межею вогнестійкості 0,75 ч. (СНиП 2.01.02-85).

Відповідно до вимог, розглянуте приміщення категорії "Д" не входить у перелік приміщень, що підлягають устаткуванню автоматичними установками пожежогасіння. Згідно вимог ISO 3941-2007 та ДСТУ 3675-98, із засобів пожежогасіння в приміщенні необхідна наявність одного вогнегасника типу ОУ-8 (1 шт.).

У приміщенні передбачений вільний доступ до виходу на випадок евакуації.

Мінімальний час евакуації, ширина евакуаційних виходів та проходів, максимальна віддаленість робочих місць від евакуаційних виходів відповідають вимогам ДБН В.1.1-7-2017, СНиП 1.01.02-85 та СНиП 2.09.02-85.

Система протипожежного захисту відповідає НАПБА.01.001-2014 – Правила пожежної безпеки в Україні.

9.4 Висновки до розділу 9

В розділі було наведено основні правила технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації експериментального стенда, технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці і виробничої санітарії, правила поведіння в надзвичайних ситуаціях.

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В даній магістерській дисертації було огляд існуючих розробок, описано принцип їх роботи, переваги та недоліки цих технологій.

Було наведено опис технологічної схеми стенда, методику дослідження вимірювання основних режимних параметрів та методику обробки результатів вимірювання при проведенні експериментів. Розглянуто конструкцію триступінчатого відцентрового дистилятора, методики розрахунку тепловіддачі при випаровуванні, конденсації в кожній ступені та конденсаторі. Розглянуто та описано термоелектричну батарею, наведено її габаритні характеристики, споживану електричну потужність, розрахунковий коефіцієнт ефективності.

Описано гідродинаміку плівки рідини на обертовій поверхні, геометрію теплообмінної поверхні, тепловіддачу при конденсації пари на обертовій поверхні, тепловіддачу при конденсації пари на плівці рідини, тепловіддачу при паротворенні в плівці рідини на обертовій поверхні.

Зображено схему руху потоків рідини в триступінчастому дистиляторі, розраховано концентрації розчину для кожної ступені, а також встановлено, що після виходу установки на штатний режим роботи у всіх ступенях, крім першого, концентрація рідини, що випарюється, буде зберігатися практично незмінною.

Також зображено розрахункову схему триступінчатого дистилятора та було виконано тепловий розрахунок і розраховано теплові потоки в кожній ступені триступінчатого відцентрового дистилятора, розраховано середні коефіцієнти тепловіддачі на циліндричній і конічній частинах теплообмінної поверхні кожної ступені при пароутворенні та конденсації пари.

Згідно теми було розроблено стартап проект зведений кошторис якого: 1935,0 тис. грн. , в т.ч. 2018 рік – 645,0 тис. грн., 2019 рік – 645,0 тис. грн., 2020 рік – 645,0 тис. грн.

Було наведено основні правила технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації експериментального стенда, технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці і виробничої санітарії, правила поводження в надзвичайних ситуаціях.

Було представлено результати дослідження паразитичних перетоків теплоти із гарячого контуру у холодний в гідравлічних каналах вузла входу та виходу теплоносіїв відцентрового дистилятора отриманих в середовищі Solid Works Flow Simulation для різних матеріалів з яких міг би бути виконаний вузол, а саме: титан, латунь, тефлон, алюміній.. Згідно результатів розчин рідини, що проходить через канал 1 охолоджується, спричиняючи нагрівання розчину, що проходить через канали 2, 3 та 4 за рахунок теплопровідності. Було проведено оцінку паразитичних перетоків теплоти та побудовано графіки, що відображають залежність теплових втрат від теплопровідності матеріалів, з яких видно, що перетоки теплоти будуть менші при використанні матеріалу з низькою теплопровідністю.

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1 Бутузов А.И., Риферт В.Г. Экспериментальное исследование теплообмена при конденсации пара на вращающемся диске./ А.И. Бутузов, В.Г. Риферт // – Известия ВУЗов СССР, Энергетика, 1971, № 9, с. 118-121.

2 Rifert, V.G., Barabash P.A., and Goliyad N.N. Methods and Processes of Thermal Distillation of Water Solution for Closet Water Supply Systems // SAE Paper 901294, 20th International Conference on Environmental Systems, Williamsburg, July 1990.

3 Noble, L., F. Shubert, R. Pudoka, and J. Miernik, "Phase Change Water Recovery for the Space Station Freedom and Future Exploration Missions," SAE Paper 901294, 20th International Conference on Environmental Systems, Williamsburg, July 1990.

4 Бутузов А.И., Пуховой И.И., Риферт В.Г. Экспериментальное определение минимальной плотности орошения в центробежном тонкопленочном аппарате. / А.И.Бутузов, И.И. Пуховой, В.Г. Риферт – В кн. «Теплофизика и теплотехника», Киев, 1973, вып. 24, с 78-82.

6 Гейзли К., Чарват А. Поведение тонкой пленки жидкости на вращающемся диске. - В кн. : Тепло- и массоперенос. Минск, 1968, т. 20, с. 401-419.

7 Matsumoto S., Saito K., Tacashima V. The thikness of a viscous liquid film on rotating disk. - J. Chem. Eng. Japan, 1973, vol. 6, № 6, p. p. 503-507.

9 Риферт В.Г., Барабаш П.А., Мужилко А.А. Статистический анализ волновой структуры поверхности пленки жидкости, движущейся под действием центробежных сил. / В.Г.Риферт, П.А.Барабаш,А. - Изв. ВУЗов СССР. Энергетика, 1982, № 2, с. 62-66.

10 Muzilko A., Rifert V., Barabash P. Flow of Liquid Film over the Surface of a Rotating Disk. - Heat Transfer - Soviet Research, 1983, vol. 15, № 5, p. p. 1-6.

11 Мужилко А. А. Теплообмен и пленочное течение жидкости в центробежных дистилляторах. Диссертация кандидата технических наук (руководитель Риферт В.Г.), Киев, Киевский политехнический институт, 1984.

12 Риферт В.Г., Мужилко А.А., Курилова Е.Б. Закономерность изменения средней толщины пленки жидкости на вращающемся диске. Теоретические основы химической технологии, 1988,т. 22, № 5, с. 642-646.

13 Барабаш П.А., Мужилко А.А., Риферт В.Г. Минимальная плотность орошения теплообменной поверхности центробежного испатителя/П.А. Барабаш,А.А. Мужилко, В.Г.Риферт. - В кн.: "Теплопроводность и конвективный теплообмен.", Киев, 1980, с. 59-63.

14 Sparrow E., Gregg J.,The Effect of vapor drag on rotating Condansation. - Journal of Heat Transfer., 1968, vol. 82, p. p. 71-72.

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

15 Риферт В.Г. Теплообмен и гидродинамика при пленочной конденсации на гладких и профилированных поверхностях. - Диссертация доктора технических наук, Киев, 1987.

16 Астафьев В., Бакластов А. Конденсация пара на вращающемся диске. -Изв. ВУЗов СССР, Теплоэнергетика, 1971, № 9.

17 Риферт В.Г., Усенко В. К вопросу использования термисторов в схеме измерения температур вращающихся объектов. - В кн.: Вестник Киевского политехнического института, серия теплоэнергетика, Киев, 1971, вып. 8, с. 34-36.

18 Sparrow E., Harnet. Конденсация на вращающемся конусе. - Journal of Heat Transfer., 1961, vol. 83, № 1.

					Т81мп 39 05 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Власник документу:
Гавриш Андрій Сергійович

ID перевірки:
1000445704

Дата перевірки:
29.10.2019 14:12:35 GMT+0

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
29.10.2019 14:13:39 GMT+0

ID користувача:
77138

Назва документу: Донець А.В. ТП-81мп

ID файлу: 1000456102 Кількість сторінок: 94 Кількість слів: 18442 Кількість символів: 132089 Розмір файлу: 6.77 MB

2.48% Схожість

Найбільша схожість: 0.45% з джерело <http://www.knuba.edu.ua/ukr/wp-content/uploads/2016/02/diss.pdf>

2.1% Схожість з Інтернет джерелами

96

Page 96

1.47% Текстові збіги по Бібліотеці акаунту

520

Page 97

0% Цитат

Не знайдено жодних цитат

0% Вилучень

Вилучений текст відсутній

Підміна символів

Заміна символів

302

ЗАТВЕРДЖУЮ

Декан теплоенергетичного
факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ТОВ «Термодистиляція РВ»

(підпис) Є.М. Письмений
(ініціали, прізвище)

«____» _____ 2019 р.

(підпис) О.В. Золотухін
(ініціали, прізвище)

«____» _____ 2019 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на проектно-конструкторську розробку

«Розробка експериментального стенду для дослідження відцентрового дистиллятора з термоелектричним тепловим насосом»

1. Термін виконання роботи

Початок – 01.09. 2019 р.

Закінчення – 16.12. 2019 р.

2. Обґрунтування для виконання роботи

Експериментальне та теоретичне дослідження процесів концентрування на поверхнях, що обертаються, різноманітного дизайну, вивчення та удосконалення сепараційних пристроїв. Розробка включає вивчення характеристик дистиллятора, вплив конструктивної схеми на головні показники роботи системи

3. Мета роботи

Розробка комп'ютерної моделі роботи вхідного вузла дистиллятора. Дослідження паразитних перетоків теплоти із гарячого контуру у холодний в гідравлічних каналах вузла входу та виходу теплоносіїв відцентрового дистиллятора.

4. Зміст основних етапів виконання роботи

Розрахунок балансу солевмісту і концентрацій солей в розчині.

Тепловий розрахунок дистиллятора.

Розрахунок теплових втрат і перетоків теплоти у вхідному вузлі дистиллятора.

Опис технологічної схеми стенда.

Відцентровий дистиллятор (конструкція і розрахунок).

Термоелектричний трансформатор теплоти.

Тепловіддача при конденсації пари на обертовій поверхні.

Тепловіддача при конденсації пари на плівці рідини.

Тепловіддача при паротворенні в плівці рідини на обертовій поверхні.

Графічний матеріал:

- креслення відцентрового дистилятора (розрізи, збірне креслення, креслення загального вигляду);

- креслення герметичної магнітної муфти;

- плакати з розподілом температур в каналах вузла входу і виходу технологічних потоків дистилятора.

5. Матеріали, що подаються після закінчення роботи

5.1. Пояснювальна записка (текстова частина магістерської дисертації).

5.2. Креслення.

5.3. Довідка про впровадження результатів.

6. Порядок розгляду і приймання роботи

Результати роботи розглядаються на засіданні ЕК із захисту атестаційних робіт освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 144 «Теплоенергетика», освітньо-професійною програмою «Промислова та муніципальна теплоенергетика і енергозбереження».

Керівник роботи

Виконавець

Студент гр. ТП-81мп

ТЕФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського

проф. В.Г.Ріферт

(підпис) (посада, ініціали, прізвище)

А.В. Донець

(підпис) (ініціали, прізвище)

«___» _____ 2019 р.

«___» _____ 2019 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ТОВ «Термодистиляція»
(керівник підприємства, організації)

(підпис)

О.В. Золотухін
(ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 2019 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів магістерської дисертації
студента КПІ ім. Ігоря Сікорського Донця Андрія Валерійовича

Результати магістерської дисертації на здобуття ступеня магістра студента теплоенергетичного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського Донця А.В. на тему «Розробка експериментального стенду для дослідження відцентрового дистилятора з термоелектричним тепловим насосом» упроваджені в лабораторії ТОВ Термодистиляція в частині розрахунку балансу солевмісту і концентрацій солей в розчині, теплового розрахунку дистилятора, розрахунку теплових втрат і паразитних перетоків теплоти у вхідному вузлі, опису технологічної схеми стенда, конструкції і розрахунку відцентрового дистилятора, розрахунку тепловіддачі при конденсації пари на обертовій поверхні, тепловіддачі при конденсації пари на плівці рідини, тепловіддачі при випаровуванні в плівці рідини на обертовій поверхні.

Головний інженер проекту

(підпис)

О. Стрикун
(ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 2019 р.

СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ Донця Андрія Валерійовича

№	Найменування праць	Рукописні або друковані	Назва видавництва, журналу (номер, рік) або номер авторського свідоцтва, номер диплома на винахід	Кількість друкованих аркушів або сторінок разом	Прізвища співавторів праць
1	Проблема обмерзання випарника в повітряному тепловому насосі	Друк	XIX Всеукраїнська студентська науково- практична конференція “Science and Technology of the XXI Century” Київ, 29 листопада 2018 р. http://konfist.fl.kpi.ua/sites/default/files/part_i_engineering_innovations.pdf	1	Соломаха А.С. Шиліна Л.І.
2	Необхідність використання поняття якості енергії (ексергії) в термодинамічн ому аналізі енергоперетвор юючих систем	Друк	XVII Міжнародна науково- практична конференція аспірантів, магістрів, студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики», Київ, 23-26 квітня 2019 р. http://tef.kpi.ua/files/pdf/tezi-tom1_2021.pdf	1	Куделя П.П.

Список наукових праць Донця А.В.: усього 2 найменування. Список наведений на 1-ій сторінці.

Автор

Донець А.В.

ВІДОМІСТЬ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	Примітка
1	A4		Завдання на магістерську дисертацію	2	
2	A4	ТП 81мп 39 05 ПЗ	Пояснювальна записка	69	
3	A1	ТП 81мп 39 05 001 СЗ	Експериментальний стенд. Схема гідравлічна принципова	1	
4	A1	ТП 81мп 39 05 001 СК1	Відцентровий дистилятор (складальне креслення)	1	
5	A4×3	ТП 81мп 39 05 001	Вузол входу (токарні роботи)	1	
6	A2×2	ТП 81мп.39 05 002	Вузол входу (розрізи)	1	
7	A3	ТП 81мп 39 05 003 СК2	Вузол входу (складальне креслення)	1	
8	A2	ТП 81мп 39 05 004 СК3	Привід з магнітною муфтою	1	
9	A1	ТП 81мп 39 05 005	Кришка ротора	1	
10	A1	ТП 81мп 39 05 006	Вал ротора	1	
11	A1	ТП 81мп 39 05 007	Вал ротора (розрізи)	1	
12	A4	ТП 81мп 39 05 001 СК1	Специфікація	1	
13	A4	ТП 81мп 39 05 003 СК2	Специфікація	1	
14	A4	ТП 81мп 39 05 004 СК3	Специфікація	1	

				ТП 81мп 39 05		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Студент	Донець А.В.			Відомість магістерської дисертації	Аркуш	Аркушів
Керівн.	Ріферт В.Г.					1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського, Каф. ТПТ, Гр. ТП – 81мп	
Н. контр	Боженко М.Ф.					
Зав. каф.	Варламов Г.Б.					

1ВІДОМІСТЬ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	Примітка
1	A4		Завдання на магістерську дисертацію	2	
2	A4	ТП 81мп 39 05 ПЗ	Пояснювальна записка	69	
3	A1	ТП 81мп 39 05 001 СЗ	Експериментальний стенд. Схема гідравлічна принципова	1	
4	A1	ТП 81мп 39 05 001 СК1	Відцентровий дистилятор (складальне креслення)	1	
5	A4×3	ТП 81мп 39 05 001	Вузол входу (токарні роботи)	1	
6	A2×2	ТП 81мп.39 05 002	Вузол входу (розрізи)	1	
7	A3	ТП 81мп 39 05 003 СК2	Вузол входу (складальне креслення)	1	
8	A2	ТП 81мп 39 05 004 СК3	Привід з магнітною муфтою	1	
9	A1	ТП 81мп 39 05 005	Кришка ротора	1	
10	A1	ТП 81мп 39 05 006	Вал ротора	1	
11	A1	ТП 81мп 39 05 007	Вал ротора (розрізи)	1	
12	A4	ТП 81мп 39 05 001 СК1	Специфікація	1	
13	A4	ТП 81мп 39 05 003 СК2	Специфікація	1	
14	A4	ТП 81мп 39 05 004 СК3	Специфікація	1	

				ТП 81мп 39 05		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Студент	Донець А.В.			Відомість магістерської дисертації	Аркуш	Аркушів
Керівн.	Ріферт В.Г.					1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського, Каф. ТПТ, Гр. ТП – 81мп	
Н. контр	Боженко М.Ф.					
Зав. каф.	Варламов Г.Б.					

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
				Документація		
A1			ТП81мп 39 05 003 СК2	Складальне креслення	1	
				Деталі		
A1	1		ТП81мп 39 05 001	Вузол входу	1	
	2			Шайба	1	
	3			Штуцер	1	
	4			Прокладка	1	
M						
Эм	Арк	N° докум	Підп.	Дата	ТП81мп 39 05 СК2	
Студент	Донець А.В.					
Керівник	Ріферт В.Г.					
П.контр						
Н.контр.	Боженко М.Ф.					
Зав.каф.	Варламов Г.Б.					
<div>Вузол входу</div>						<div>Лім.<div></div></div> <div>Лист<div>1</div></div> <div>Листів<div>1</div></div>
						НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського, ТЕФ, каф. ТПТ

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка.
				Документація		
A1			ТП81мп 39 05 004 СКЗ	Складальне креслення	1	
				Деталі		
		1		Кришка дистиллятора	1	
		2		Кришка ротора	1	
		3		Перегородка	1	
		4		Сепаратор	1	
		5		Черпак	1	
		6		Корпус магнітної муфти	1	
		7		Електродвигун	1	
		8		Шестерня редуктора	1	
		9		Колесо редуктора	1	
		10		Ведучий магніт	1	
		11		Ведений магніт	1	
	</					

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
				Документація		
A1			ТП81мп 39 05 001 СК1	Складальне креслення	1	
				Деталі		
		1	ТП81мп 39 05 003 СК2	Вузол входу	1	
		2	ТП81мп 39 05 004 СК3	Привід з магнітною муфтою	1	
		3	ТП81мп 39 05 005	Кришка ротора	1	
		4	ТП81мп 39 05 006	Вал ротора	1	